Commission canadienne de sûreté nucléaire
Canadian Nuclear Safety Commission

Comité consultatif de la radioprotection

Guide sur l'exposition aux rayonnements ionisants à l'intention des médecins du travail

INFO-0717

Préparé par l'ancien Groupe des conseillers médicaux sous le numéro GCM-12.

Août 2000

Canada

Le 31 mai 2000, la Commission de contrôle de l'énergie atomique est devenue la Commission canadienne de sûreté nucléaire. Toute référence dans le présent document à la Commission de contrôle de l'énergie atomique ou à la CCEA se rapporte donc — à moins que le contexte en n'indique autrement — à la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN). Il est à noter que le Groupe des conseillers médicaux a été aboli : ses activités relèvent désormais du Comité consultatif de la radioprotection de la CCSN.

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (anciennement la Commission de contrôle de l'énergie atomique) recourt à des comités consultatifs d'experts indépendants pour l'appuyer dans son processus décisionnel. Elle compte deux comités scientifiques de haut niveau, chargés de lui fournir des avis indépendants sur les principes, les normes et les pratiques générales dans les domaines de la radioprotection et de la sûreté des installations nucléaires. Ces comités sont le Comité consultatif de la sûreté nucléaire et le Comité consultatif de la radioprotection

La Commission canadienne de sûreté nucléaire publie nombre des rapports de ses comités consultatifs, mais elle ne sanctionne ni le contenu des rapports, ni les recommandations qu'ils contiennent.

Pour obtenir de l'information sur ces comités consultatifs indépendants, on est prié de communiquer avec : Comités consultatifs de la Commission canadienne de sûreté nucléaire, Ottawa (Ontario) K1P 5S9

GUIDE SUR L'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS À L'INTENTION DES MÉDECINS DU TRAVAIL - PAGE D'ACCUEIL

Pour les lecteurs qui aimeraient consulter tout de suite la table des matières, il suffit de déplacer le curseur vers le bas jusqu'à la partie intitulée : « Que contient ce document ?». Nous vous recommandons toutefois de prendre le temps de lire les paragraphes d'introduction pour comprendre la manière dont le document est organisé.

Quelle est la nature de ce document et à qui s'adresse-t-il?

Le but du présent document est d'organiser la masse des informations qui existent sur la relation entre les rayonnements/radionucléides et leurs effets sur la santé, particulièrement à l'intention des médecins du travail. Notre priorité est de présenter l'information d'une manière utile pour les médecins du travail, plutôt que d'indiquer simplement toutes celles qui sont accessibles. Comme les médecins du travail ont souvent à expliquer des notions complexes liées au risque à un auditoire « de masse », nous avons délibérément omis d'adopter le ton de la revue scientifique en indiquant plutôt des références additionnelles directement utilisables par le lecteur.

Dans un milieu de travail où l'exposition aux rayonnements est possible, le médecin du travail doit souvent communiquer de l'information liée à des expositions aux rayonnements. Un employé peut être dirigé vers un médecin pour une consultation liée à une question particulière d'hygiène des rayonnements. Un groupe d'employés ou de cadres peuvent faire part d'une préoccupation collective à un médecin du travail et lui demander de faire un exposé sur la question devant le groupe. Ou encore, il peut être demandé au médecin de donner une estimation des risques en cas de poursuite judiciaire.

Peu de médecins du travail se trouvent dans une position où ils peuvent assumer la responsabilité des soins en cas d'accident de travail, même s'il ne s'agit pas d'un accident grave. Il est peu probable qu'un médecin du travail canadien soit le principal responsable des soins à donner à un individu traité suite à une contamination radioactive ou aux effets d'une exposition aux rayonnements. Toutefois, la collectivité médicale peut se tourner vers des médecins du travail qui sont familiers avec le milieu des rayonnements pour obtenir des conseils sur le traitement des radiolésions.

Ces deux fonctions du médecin du travail sont intimement liées à l'estimation de la dose de rayonnement reçue par le travailleur. La dosimétrie des rayonnements est une fonction de spécialiste et ne devrait pas être accomplie par le médecin du travail. Les renseignements fournis dans ce document ont pour but de sensibiliser le médecin à l'importance des doses de rayonnement et illustrent la manière dont les doses peuvent être estimées - ils ne visent pas à enseigner au médecin comment procéder à la dosimétrie des rayonnements. Le médecin du travail doit demander l'aide d'un spécialiste en radioprotection pour estimer la dose ou pour obtenir des conseils sur une autre question liée aux rayonnements.

On demande souvent aux médecins du travail de parler des risques chimiques pour lesquels il n'existe que peu de données sur les humains et qui peuvent être impossibles à quantifier. Il est important de noter que très souvent, ce n'est *pas* le cas des dangers d'irradiation : il *existe* beaucoup d'information

permettant d'estimer la dose et de quantifier le risque. Pour cette raison, il est nécessaire de suivre une méthode plus mesurée exacte pour la communication concernant le risque radiologique.

Comment le document est-il organisé?

Le document donne de l'information sur les types de milieux de travail où l'exposition des travailleurs aux rayonnements est possible. Le document porte essentiellement sur des situations en milieu de travail (études de cas) auxquelles le médecin du travail peut être confronté et sur les étapes à suivre pour les gérer. Des documents de référence pertinents sont fournis, de sorte que le lecteur peut suivre le développement de chaque étude de cas. La démarche suivie dans le développement des études de cas suivra les principes généraux de la communications relative au risque. Des sources d'information additionnelles sont également fournies pour ceux qui souhaitent obtenir de plus amples renseignements. Les références, par exemple, se présentent sous forme d'hypertexte de sorte que l'information complète sur les références est facile à trouver.

Les situations en milieu de travail se divisent en deux grandes catégories :

a) Cas liés à l'exposition : situations où une exposition réelle ou potentielle aux rayonnements s'est produite, mais où on n'a pas encore confirmé d'effet particulier pour la santé;

b) Cas liés aux effets su. la santé : situations où un effet particulier pour la santé a été confirmé, et une relation avec un rayonnement connu ou présumé est proposée.

Chacune de ces catégories est subdivisée afin de faciliter la localisation de l'information susceptible d'être utile dans un cas particulier.

Comment doit-on utiliser ce document?

Un aperçu du document est fourni pour vous aider à naviguer. De nombreux liens sont indiqués dans l'ensemble du texte pour vous permettre de vous déplacer rapidement vers les sections pertinentes du document. Les boutons directionnels par défaut du programme Adobe Acrobat Reader vous permettront de vous déplacer vers l'avant, de retourner à la première page, ou d'aller à la dernière page. Des liens qui peuvent vous mener à d'autres sites web pertinents sont également indiqués.

Le document a été converti en format Adobe Acrobat (.pdf) et peut être téléchargé sur votre disque dur. Pour le télécharger, retournez à votre navigateur Netscape, cliquez avec le bouton de droite de la souris sur le lien vers ce document et utilisez la commande « enregistrer sous ». Vous pouvez changer le nom du fichier, mais il faut garder intacte l'extension du fichier (.pdf).

Quel type d'information contient ce document?

COMMENT DOIS-JE RÉPONDRE AUX QUESTIONS OU AUX PRÉOCCUPATIONS RELATIVES AUX RAYONNEMENTS ET À LA SANTÉ AU TRAVAIL?

-Attitude générale face à la divulgation du risque

QUELS SONT LES PROBLÈMES LES PLUS FRÉQUENTS EN MILIEU DE TRAVAIL? (ÉTUDES DE CAS)

- Exposition aux rayonnements en milieu de travail
  - irradiation externe
  - irradiation du corps entier et irradiation locale
  - contamination
  - contamination externe
  - contamination interne

- Facteurs ayant une incidence sur l'exposition aux rayonnements en milieu de travail

- Cas liés à l'exposition
  - irradiation externe aiguë (1)
  - irradiation externe aiguë (2)
  - irradiation externe chronique
  - contamination externe aiguë
  - contamination interne aiguë
  - contamination interne chronique
  - irradiation externe : rayonnement cosmique

- Cas liés à la santé
  - cancer
  - reproduction (1)
  - reproduction (2)
  - peau
  - yeux
  - autres

OÙ PEUT-ON OBTENIR DE PLUS AMPLES RENSEIGNEMENTS

- sur les rayonnements, la radioactivité et les radionucléides
  - les notions fondamentales
  - les types de rayonnements
    - alpha
    - bêta
    - gamma
    - rayons X
    - neutrons

- -unités de dose
- -effets biologiques
- -syndrome d'irradiation aiguë
- -expositions localisées aux rayonnements
- -estimation des risques

-sur les lieux de travail où on peut trouver des radionucléides
- -lieux de travail où on peut trouver des radionucléides
  - -cycle du combustible
  - -industrie
  - -enseignement et recherche
  - -médecine
  - -sources naturelles de rayonnement
- -activités associées aux radionucléides industriels utilisés couramment
- -description des radionucléides par source

-sur certains radionucléides particuliers

-sur les sources locales, nationales et internationales d'information

-sur les ressources techniques disponibles
- -la surveillance humaine et les essais biologiques
- -l'analyse des chromosomes dicentriques
- -les procédures à suivre pour prélever des échantillons de sang pour l'analyse chromosomique
- -la procédure à suivre pour obtenir l'acide diéthylènetriamine pentacétique (DTPA) et le bleu de Prusse

-sur les endroits où obtenir de la formation

-sur les lectures et les logiciels additionnels

-sur d'autres sites web utiles

-sur le traitement de la contamination interne
- -réduction de l'absorption gastro-intestinale
- -blocage et agents de dilution
- -agents mobilisants
- -agents chélateurs
- -lavage des poumons
- -hémodialyse
- -sommaire du traitement pour des contaminants internes radioactifs choisis

-sur d'autres publications du Groupe des conseillers médicaux

-GMA-6 Lignes directrices sur l'assistance à offrir en cas de surexpositions professionnelles aux rayonnements ionisants

-GMA-8 Lignes directrices révisées pour la surveillance médicale des travailleurs sous rayonnements

QUESTIONS POSÉES FRÉQUEMMENT

QUELLES RÉFÉRENCES ONT ÉTÉ UTILISÉES POUR CRÉER CE DOCUMENT?

GLOSSAIRE

REMERCIEMENTS

COMMENT DOIS-JE RÉPONDRE AUX QUESTIONS OU AUX PRÉOCCUPATIONS RELATIVES AUX RAYONNEMENTS ET À LA SANTÉ AU TRAVAIL?

Attitude générale pour la communication concernant le risque individuel

La Figure 1 - Répondre à des questions/préoccupations liées aux rayonnements et à la santé au travail donne un aperçu de l'attitude générale à avoir lorsqu'on répond à des demandes de renseignements sur le rayonnement et la santé au travail. Écoutez d'abord, et parlez ensuite. Ne donnez pas trop d'information au début sous prétexte que vous croyez que c'est ce que la personne voudrait entendre ou que c'est ce que vous voudriez entendre si vous étiez à sa place. Assurez-vous que vous comprenez clairement les préoccupations de la personne.

Il est souvent utile, lors de la première rencontre et après avoir offert de répondre aux questions, de demander aux personnes visées d'envisager toutes les réponses possibles aux questions qu'elles se posent, comme par exemple : Les rayonnements ont causé/n'ont pas causé mon cancer. Vous pouvez répondre : « Je ferai tout ce que je peux pour en déterminer la cause. Mais peut-être que je pourrais vous aider davantage si je comprenais à quel point vous trouvez important d'en déterminer vous-même la cause. »

Essayez de résister à la tentation de corriger toute incompréhension que vous remarquerez lors de la première rencontre. Tentez plutôt de reformuler ces incompréhensions sous forme de questions, faites part de votre engagement à effectuer des recherches et donnez-lui la réponse plus tard. Il est parfois préférable de procéder ainsi même si vous connaissez déjà les réponses.

Au terme de la première rencontre avec l'employé, il sera peut-être utile de confirmer oralement ce que vous supposez être ses préoccupations. Vous souhaiterez peut-être assurer le suivi en préparant une lettre à l'intention de l'employé. N'envoyez pas de lettre si vous prévoyez qu'elle pourrait mettre plus de deux jours à se rendre au destinataire. La lettre doit être rédigée en langage clair, étant donné qu'elle peut influencer les attentes du travailleur face à la rencontre de suivi.

La Figure 2 - Préparer une réponse finale à une question sur les rayonnements et la santé donne un aperçu des étapes à suivre lorsque l'on prépare une réponse finale à une question sur les rayonnements et la santé. Il faut porter une attention particulière aux contradictions apparentes que vous pourriez formuler, et qui susciteraient des questions semblables à « Comment se fait-il que la Commission des accidents du travail me verse une indemnité pour cette maladie, mais que la société pour laquelle je travaille ne reconnaît pas que ses pratiques en matière de radioprotection ne sont pas adéquates? Comment pouvez-vous affirmer que je suis victime d'une contamination interne et dire par ailleurs que je peux jouer avec mes enfants sans aucun problème?

On n'insistera jamais assez sur l'importance de pouvoir expliquer clairement à l'interlocuteur les relations qui existent entre les sources de rayonnement et les effets observés sur la santé. Certains outils qui peuvent vous aider sont fournis dans la partie intitulée « Questions posées fréquemment ». Cependant, vous devrez déterminer dans chaque cas si elles s'appliquent ou non.

Figure 1. Répondre à des questions ou des préoccupations relatives aux rayonnements et à la santé au travail

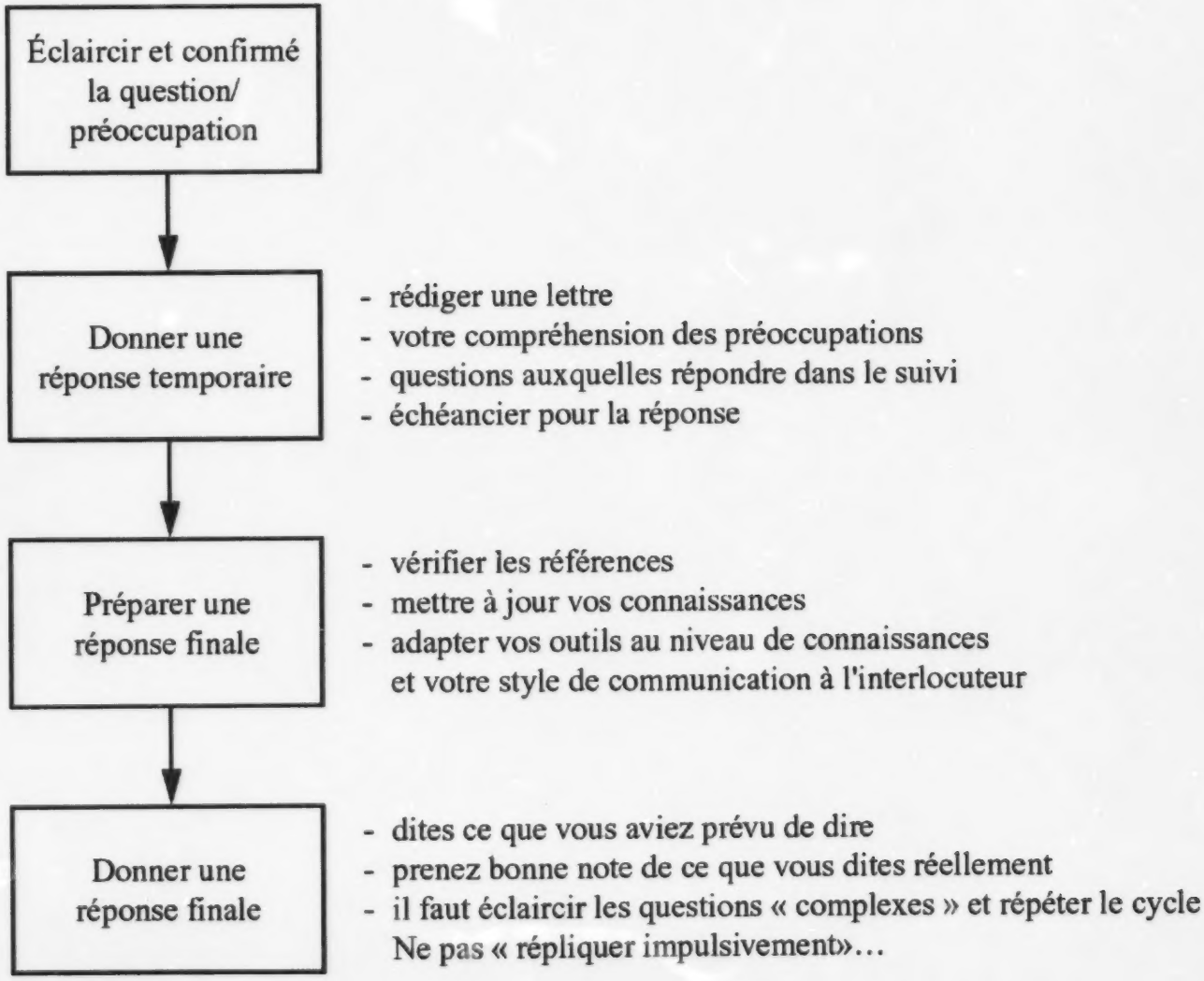
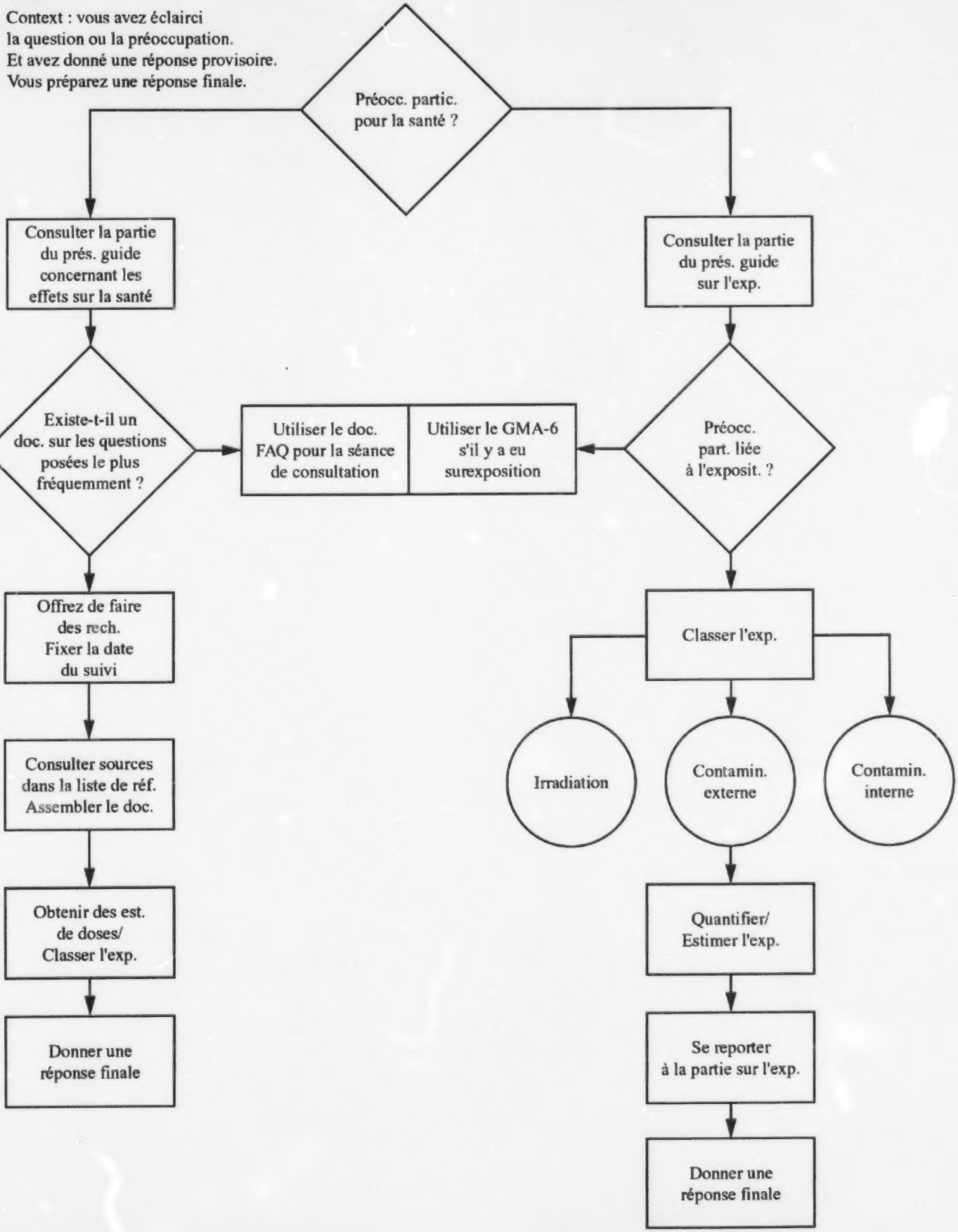


Figure 2. Préparer une réponse finale à une question sur le rayonnement et la santé



QUELS SONT LES PROBLÈMES LES PLUS FRÉQUENTS EN MILIEU DE TRAVAIL? (ÉTUDES DE CAS)

Exposition aux rayonnements en milieu de travail

Facteurs ayant une incidence sur l'exposition aux rayonnements en milieu de travail

Cas liés à l'exposition **(Études de cas)**

- -Irradiation externe - exposition aiguë (1)
- -Irradiation externe - exposition aiguë (2)
- -Irradiation externe - exposition chronique
- -Contamination externe - exposition aiguë
- -Contamination interne - exposition aiguë
- -Contamination interne - exposition chronique
- -Irradiation externe - rayonnement cosmique

Cas liés aux effets sur la santé **(Études de cas)**

- Cancer
- Reproduction (1)
- Reproduction (2)
- Peau
- Yeux
- Autres

EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS EN MILIEU DE TRAVAIL

L'exposition aux rayonnements en milieu de travail peut résulter d'une exposition externe (irradiation) à une source de rayonnement à l'extérieur du corps, ou d'une contamination.

Irradiation externe
L'irradiation externe peut résulter de l'exposition à différentes sources, comme une machine à rayons X, une source radioactive industrielle ou un réacteur nucléaire. Il n'y a eu aucun contact direct entre la source de rayonnement et la personne. On dit que l'individu a subi une « exposition externe » ou une « irradiation externe ». Une fois que la personne s'est éloignée de la source, aucune irradiation additionnelle ne se produit. La personne n'est pas radioactive et les personnes qui sont en contact avec elle ne risquent pas d'être exposées car cette personne n'émet aucun rayonnement.

Irradiation du corps entier et irradiation locale
Selon le lieu de travail, le rayonnement externe peut toucher le corps entier ou seulement une partie du corps. Dans la pratique, il est peu probable que le corps entier soit irradié uniformément et, dans le cas d'une exposition locale, il existe de très fortes différences de dose absorbée entre les différentes parties du corps. Néanmoins, la distinction entre l'irradiation du corps entier et l'irradiation locale est utile pour bien comprendre les effets des rayonnements.

Contamination
La contamination dans ce contexte fait allusion au dépôt de matières radioactives sur la peau, ou d'une incorporation de matières par inhalation, ingestion et par contact avec la peau intacte ou éraflée. Même si une personne contaminée est éloignée de la source de contamination, elle continue à être irradiée aussi longtemps que des matières radioactives sont présentes à l'intérieur ou à l'extérieur de son corps. Les personnes contaminées peuvent également constituer un risque pour d'autres personnes en étendant la contamination ou en agissant comme une « source radioactive » et en irradiant d'autres personnes.

Afin de réduire l'exposition des personnes contaminées et d'autres personnes, les matières radioactives doivent être enlevées de la surface du corps le plus tôt possible, et des mesures doivent être prises pour éviter que des matières radioactives soient absorbées ou pour faciliter leur excrétion.

Contamination externe
La contamination externe chronique ne devrait pas se produire dans des lieux de travail où l'on a recours à des pratiques de radioprotection. Il ne devrait y avoir aucune contamination externe à l'extérieur de certaines zones définies. Des mesures qui permettent la notification précoce d'une situation de contamination devraient être en place. Par conséquent, une exposition chronique est improbable. Si une telle exposition se produit, la source est retirée et des mesures correctrices sont prises. Une protection appropriée des travailleurs est nécessaire à titre de mesures correctrices, ainsi qu'une surveillance du débit de dose et une dosimétrie du personnel.

Contamination interne

Alors que la contamination externe résulte habituellement d'une exposition accidentelle, il arrive que la contamination interne ne puisse être évitée sur le plan pratique dans certaines catégories de métiers. L'incorporation interne peut résulter de l'inhalation de radionucléides dans l'air, de leur ingestion ou de leur absorption par la peau.

La durée de l'exposition dépendra de la période physique du radionucléide et de la longévité de la source dans le corps, ou période biologique. Lors d'une incorporation, le comportement du radionucléide varie selon sa composition chimique. Certaines substances sont directement absorbées, alors que d'autres ne le sont pas. Certaines sont faciles à excréter, alors que d'autres sont difficilement délogeables de certains tissus corporels. Les radionucléides qui sont solubles et chimiquement semblables à des éléments nutritifs essentiels auront tendance à suivre des voies semblables à celles suivies par les éléments nutritifs auxquels ils ressemblent. Par exemple, le strontium 89 et le radium 226 sont semblables au calcium et ont tendance à se fixer aux os. Le césium 137 suit la voie générale du potassium et on le trouve partout dans le corps. L'iode 131 se comporte comme l'iode stable et s'accumule dans la glande thyroïde. Le tritium est chimiquement équivalent à l'hydrogène et on le trouve sous forme d'eau tritiée dans les fluides corporels. Le radionucléide continue à se désintégrer, mais est également éliminé graduellement par le corps. La dose qui est reçue réellement par le corps dépendra donc du temps écoulé après l'incorporation.

La limite annuelle d'incorporation des radionucléides est la quantité de radionucléides incorporés en un an qui donne lieu à une dose égale à la limite de dose annuelle correspondante. La Commission internationale de protection radiologique publie des tableaux contenant cette information.

FACTEURS AYANT UNE INCIDENCE SUR L'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS EN MILIEU DE TRAVAIL

Il existe plusieurs facteurs qui ont une incidence sur l'exposition aux rayonnements en milieu de travail. Pour l'exposition externe au rayonnement :

- la durée (augmente l'exposition à proximité de la source en fonction du temps);
- la distance (le rayonnement reçu diminue en fonction du carré de la distance par rapport à la source);
- le blindage (protection assurée par un matériau entre la source et l'individu - dépend de sa composition et de son épaisseur);
- la désintégration radioactive (l'activité de la source diminue en fonction du temps);
- la présence d'une source de contamination (et le contact avec la source radioactive).

Pour l'exposition interne au rayonnement :

- la durée (la durée de l'exposition augmente la dose);
- l'équipement de protection personnelle (pour réduire le risque d'ingestion et d'absorption);
- les activités personnelles (ne pas manger, boire ou fumer à proximité de la source) et l'hygiène personnelle.

CAS LIÉS À L'EXPOSITION

ÉTUDE DE CAS 1 : Irradiation externe - Exposition aiguë

Vous êtes médecin du travail et offrez des services de consultation à une petite usine qui fabrique des films et des feuilles de polymères. Au cours d'un récent arrêt de l'usine pour les vacances d'été, la jauge d'épaisseur employée pour contrôler la machinerie de fabrication a été envoyée au centre de service pour entretien. Lorsqu'elle est arrivée au centre de services, le technicien a constaté que la source de rayonnement était absente. Une enquête a permis de la retrouver dans l'usine. Elle se trouvait, toujours scellée, dans une pile de vieilles palettes sur le quai de chargement. Très peu de personnes se trouvaient dans l'usine à l'exception du technicien qui a retiré la jauge des lieux, ainsi que l'expéditeur/le consignataire.

Le texte suivra l'algorithme présenté à la Figure 1 et à la Figure 2.

ÉCLAIRCIR ET CONFIRMER LA QUESTION/PRÉOCCUPATION

Prendre le temps de déterminer quelles sont les préoccupations des travailleurs potentiellement touchés. Leurs préoccupations pourraient être liées davantage au risque accru de cancer et aux conséquences néfastes pour la reproduction qu'aux conséquences immédiates de l'exposition. Même les travailleurs expérimentés qui travaillent avec des radionucléides depuis longtemps peuvent avoir des préoccupations et des craintes auxquelles on ne s'attendrait pas.

Enfin, les travailleurs doivent avoir la certitude qu'ils obtiennent les soins appropriés et l'information pertinente.

DONNER UNE RÉPONSE PROVISOIRE

Indiquez la manière dont vous avez compris les préoccupations et questions qui demanderont une réponse lors du suivi. Donnez un échéancier pour les réponses.

PRÉPARER UNE RÉPONSE FINALE

A-t-on remarqué un effet particulier sur la santé? Non, à ce moment-ci, la préoccupation se limite à l'exposition potentielle de certains travailleurs.

Consultez les cas liés aux expositions de la partie Études de cas du présent guide.
(Vous vous trouvez présentement dans cette partie.)

Y a-t-il une préoccupation particulière quant à l'exposition?
À ce moment-ci, on ne sait si quelqu'un a été exposé accidentellement. Il sera important de déterminer si l'exposition (la dose absorbée potentielle) est importante car c'est cela qui déterminera l'urgence et le niveau de l'intervention médicale. Cette information est également importante pour régler les préoccupations particulières des personnes en cause; elle est essentielle pour mener à bien l'intervention.

Classer l'exposition

Nous savons qu'il s'agit d'une source scellée qui a été employée dans une jauge d'épaisseur. Cela signifie que l'exposition se limitera à une irradiation externe des personnes qui se trouvaient près de la source. Il ne devrait y avoir aucune contamination externe ou interne des travailleurs.

Quantifier/estimer l'exposition (à l'aide d'un spécialiste en radioprotection)
Pour estimer la dose reçue par les travailleurs qui se trouvaient près de la source, on aura besoin des renseignements suivants :

(a) la **source** : Quelle est la source? Quelle est son activité?

Les jauges contiennent souvent des émetteurs gamma comme le césium 137. Leur activité type se situe autour de 370 GBq. On devrait obtenir de plus amples renseignements sur les personnes à contacter en lisant l'étiquette sur l'instrument. Habituellement, le fabricant de la jauge ou la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) possède cette information. L'information concernant le type de rayonnement émis par la source et ses caractéristiques est indiquée dans la partie qui porte sur des radionucléides particuliers ou peut être obtenue en consultant un document de référence comme le Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook.

Comme un accident de ce genre doit être signalé à la CCEA, il est probable que ses agents aient déjà commencé une enquête.

(b) les **circonstances** : Qui a été exposé? Combien de personnes ont été exposées (ont-elles manipulé la source, se trouvaient-ils près d'elle, et si c'est le cas, à quelle distance)? À quel moment et pendant combien de temps ont-ils été exposés? Y a-t-il des signes de contamination? Les travailleurs portaient-ils leur dosimètre?

Il faudra disposer de renseignements détaillés sur la situation et compter sur une grande collaboration. On devra peut-être effectuer une visite sur le site et reconstituer le scénario à l'aide d'un dosimètre et de participants. La CCEA peut fournir de l'aide pour estimer la dose.

Bien que l'information ne soit pas complète, il sera peut-être possible d'estimer un scénario du pire cas à partir duquel vous pourrez agir avec prudence.

Se reporter aux parties intitulées Radiation, radioactivité et radionucléides, Effets biologiques, Syndrome d'irradiation aiguë et Expositions localisées aux rayonnements
La dose au corps entier estimée est-elle assez élevée pour avoir un effet immédiat sur la santé (1 Gy) ou pour causer des blessures localisées graves (10 Gy)? Les signes cliniques susceptibles de vous aider sont fournis aux parties intitulées Syndrome d'irradiation aiguë et Expositions localisées aux rayonnements.

(Il faut noter qu'il est peu probable que des doses de rayonnement de cette ampleur soient reçues dans des lieux de travail canadiens, mais à des fins d'exhaustivité, cette possibilité sera approfondie plus loin.)

Si une dose est constatée, il faut confirmer les doutes en toute urgence et envisager l'hospitalisation. La confirmation de la dose de rayonnement et des conseils sur la manière de traiter les blessures peuvent être obtenus d'un spécialiste en radioprotection d'une centrale nucléaire ou d'un hôpital, d'un médecin spécialisé en médecine nucléaire, d'un radio-oncologue ou d'un agent de radioprotection d'une université. La procédure à suivre pour le traitement d'une blessure localisée causée par le rayonnement est semblable à celle qu'il faut suivre pour les brûlures thermiques : éviter l'infection, contrôler la douleur, immobiliser initialement la blessure et faire une greffe.

Si la victime doit être hospitalisée, vous devrez assurer aux administrateurs et au personnel clinique que le patient n'est pas radioactif (si l'on suppose qu'il n'y a eu aucune contamination). Une numération globulaire de référence complète (particulièrementune numération des lymphocytes) doit être effectuée et il faut effectuer une prise de sang en vue d'une cytologie, en plus des études normales courantes. Une évaluation ophtalmologique préliminaire du cristallin doit être envisagée si celui-ci a été exposé. On peut trouver des renseignements détaillés à la rubrique Diagnostic et traitement des blessures causées par le rayonnement.

En plus de l'aide offerte par le département de radiothérapie de l'hôpital de recours, on peut obtenir des conseils sur les soins à prodiguer en cas de blessures causées par le rayonnement aux endroits suivants :

- L'unité de traumatologie (radiothérapie) du Toronto Hospital (Toronto Western Division) (1-800-668-HELP);

- Le *Radiation Emergency Assistance Centre and Training Site* (REAC/TS) des États-Unis : (423) 576-3131. Le numéro d'urgence 24 heures est le 423-481-1000 (le tableau de contrôle du Methodist Medical Centre dans lequel le REAC/TS se trouve);

- L'agent de liaison médicale de la CCEA (613) 995-1703 (le jour - HNE), (613) 995-0479 (officier en service après les heures de bureau);

- Bureau de la radioprotection, conseiller médical (613) 954-6647 (le jour - HNE).

Si la victime n'est pas hospitalisée, elle a besoin d'être rassurée et de subir des examens de suivi, comme une numération globulaire hebdomadaire pendant 5 semaines, tel que proposé par Andrews, pour documenter l'absence d'atteinte sérieuse. On peut également envisager une analyse cytogénétique pour confirmer l'estimation de dose ou pour rassurer la victime.

DONNER UNE RÉPONSE FINALE

Si l'on dispose d'une estimation de dose et que l'on comprend les préoccupations de l'individu, une réponse finale peut être formulée. Si une surexposition s'est produite, on peut obtenir des conseils en consultant le GCM-6 Lignes directrices sur l'assistance à offrir en cas de surexpositions professionelles aux rayonnements ionisants.

CAS LIÉ À L'EXPOSITION

ÉTUDE DE CAS 2 : Irradiation externe - Exposition aiguë

Lors d'activités d'inspection radiographique réalisées dans une petite usine de fabrication, une source scellée d'iridium 192 de 925 GBq est tombée d'une caméra et on ne s'en est pas rendu compte pendant l'inspection. Le jour suivant, une travailleuse remarque l'étrange objet et, après l'avoir examiné, le donne à un collègue qui, à son tour, le remet à son superviseur qui le laisse sur son bureau. Plusieurs heures plus tard, un représentant de la compagnie de radiographie communique avec le superviseur pour signaler qu'il manque une source et que tous les employés doivent être évacués. Des 76 employés qui se sont trouvés par intermittence à proximité du lieu, 22 étaient des femmes en âge de porter un enfant. La source, dans le cas qui nous occupe, est un cylindre long de 3 mm contenu à l'extrémité d'un porte-source en acier inoxydable de 0,65 cm sur 20 cm. (Cette étude de cas est fondée sur un scénario utilisé dans le cours REAC/TS de mars 1996.)

Le texte suivra l'algorithme présenté à la Figure 1 et à la Figure 2.

ÉCLAIRCIR ET CONFIRMER LA QUESTION/PRÉOCCUPATION

Prendre le temps de trouver quelles sont les préoccupations des travailleurs potentiellement touchés. Leurs préoccupations pourraient être liées davantage au risque accru de cancer et aux conséquences néfastes pour la reproduction qu'aux conséquences immédiates de l'exposition. Même les travailleurs expérimentés qui travaillent avec des radionucléides depuis longtemps peuvent avoir des préoccupations et des craintes auxquelles on ne s'attendrait pas.

Enfin, les travailleurs doivent avoir la certitude qu'ils obtiennent les soins appropriés et l'information pertinente.

DONNER UNE RÉPONSE PROVISOIRE

Indiquez la manière dont vous avez compris les préoccupations et questions qui demanderont une réponse lors du suivi. Donnez un échéancier pour les réponses.

Dans le cas des expositions accidentelles aux rayonnements où le risque d'effets biologiques précoces est élevé, le travailleur touché peut prendre part à l'enquête requise pour la préparation d' une réponse finale. Le travailleur doit être tenu au courant le plus possible pendant la durée de l'enquête afin de dissiper toute crainte.

PRÉPARER UNE RÉPONSE FINALE

A-t-on remarqué un effet particulier sur la santé? Aucun effet particulier sur la santé n'a été observé; cependant, il semble que plusieurs travailleurs ont été exposés à la source radioactive.

Consultez les cas liés aux expositions de la partie Études de cas du présent guide.
(Vous vous trouvez présentement dans cette partie.)

Y a-t-il une préoccupation particulière quant à l'exposition?
Il y a effectivement une préoccupation quant à l'exposition dans ce cas. D'après ce que nous savons de la situation, au moins deux personnes ont manipulé la source radioactive et une peut avoir travaillé à proximité de la source pendant plusieurs heures. Beaucoup d'autres personnes qui travaillent à proximité de la source ont peut-être été irradiées.

Il sera important de déterminer si l'exposition (dose absorbée potentielle) est importante (dose au corps entier/irradiation localisée) car c'est cela qui déterminera l'urgence et le niveau de l'intervention médicale. Cette information est également importante pour régler les préoccupations particulières des personnes en cause; elle est essentielle pour mener à bien l'intervention. Étant donné le nombre élevé de travailleuses en âge de procréer ayant été exposées, il faudrait prévoir des préoccupations relatives à la reproduction.

Classer l'exposition
Nous savons qu'il s'agit d'une source scellée provenant d'un appareil de radiographie. Cela signifie que l'exposition se limitera à une irradiation externe des personnes qui se trouvaient près de la source. Il ne devrait y avoir aucune contamination externe ou interne des travailleurs parce que la source est demeurée scellée.

Quantifier/estimer l'exposition (à l'aide d'un spécialiste en radioprotection)
Pour estimer la dose reçue par les travailleurs qui se trouvaient près de la source, on aura besoin des renseignements suivants :

(a) la **source** : Quelle est la source? Quelle est son activité?

Nous savons qu'il s'agit d'une source d'iridium 192 d'une activité de 925 GBq. De l'information détaillée dans ce cas devrait être obtenue d'un spécialiste en radiographie. On peut trouver de l'information sur le type de rayonnement émis par la source et sur ses caractéristiques à la partie intitulée radionucléides particuliers ou dans le document Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook.

Comme un accident de ce genre doit être signalé à la CCEA, il est probable que ses agents aient déjà commencé à réaliser une enquête.

(b) les **circonstances** : Qui a été exposé? Combien de personnes ont été exposées (ont-elles manipulé la source, se trouvaient-elles près de la source, et si c'est le cas, à quelle distance)? À quel moment et pendant combien de temps ont-ils été exposés? Y a-t-il des signes de contamination? Les travailleurs portaient-ils leur dosimètre?

Il faudra disposer de renseignements détaillés sur la situation et d'une grande collaboration. On devra peut-être effectuer une visite sur le site et reconstituer le scénario à l'aide d'un dosimètre et de participants. La CCEA peut fournir de l'aide pour estimer la dose.

Bien que l'information ne soit pas complète, vous pouvez élaborer le scénario le plus défavorable à partir duquel vous pourrez agir avec prudence. Cela est particulièrement important dans ce cas en raison du contact avec la source.

NOTE : Les étapes de l'estimation de l'exposition à une source externe sont décrites afin de démontrer les principes en cause. Il n'est pas recommandé que les médecins du travail effectuent de tels calculs. Ils devraient plutôt demander l'aide de spécialistes en radioprotection. La Commission de contrôle de l'énergie atomique et le Bureau de la radioprotection de Santé Canada possèdent ce genre d'expertise. Certains hôpitaux ont également à leur emploi des spécialistes en radioprotection.

Dans le cas qui nous occupe, nous avons appris que la source scellée est un émetteur de rayonnement gamma, l'iridium 192. Le rayonnement gamma est un rayonnement à fort pouvoir de pénétration qui se propage à une certaine distance dans l'air et qui traverse les tissus humains. Les facteurs à prendre en compte pour l'estimation de la dose sont les suivants : l'activité de la source, l'énergie du rayonnement, la qualité du rayonnement, la distance par rapport à la source et la durée de l'exposition.

On présume que l'activité de la source est de 925 GBq. Cependant, une fois que l'activité de la source est identifiée, il est possible de la déterminer au moment de l'incident. On y parvient en extrapolant dans le passé à l'aide de la période physique de la source. L'importance de l'exposition doit maintenant être déterminée.

Les tableaux scientifiques, organisés par radionucléide, fournissent la quantité d'exposition à une unité d'activité à une distance d'un mètre. Malheureusement, la plupart des tableaux directement utilisables emploient des unités d'exposition qui avaient cours avant l'adoption des unités internationales : le roentgen (R) est l'unité d'exposition dans l'air, alors que le curie (Ci) est l'activité de la source (1 Ci = 37 GBq).

Pour l'iridium 192, l'exposition à un curie est de 0,47 R/heure à une distance de 1 mètre (d'après le tableau scientifique). Si l'on calcule l'exposition à une source de 925 GBq, on obtient 925 GBq x 0,47 R/heure/Ci x 1 Ci/37 GBq à une distance de 1 mètre, ou 11,75 R/heure à une distance de 1 mètre.

À des fins biologiques, la quantité d'exposition dans l'air n'est pas très utile et doit être convertie en une unité de dépôt de l'énergie dans un tissu, ou en dose absorbée, p. ex. le gray (Gy). Pour les rayonnements à faible TEL (transfert linéique d'énergie), l'exposition du tissu à 1 roentgen (R) résulte en un dépôt de près de 1 rad (ou, en unités internationales, de 10 mGy). Cela correspond à un débit de dose absorbée de 117,5 mGy/heure à une distance de 1 mètre.

Comme l'intensité du rayonnement diminue en fonction du carré de la distance à la source, il est également possible d'estimer les débits de dose à différentes distances, p. ex. à 1 cm (pour le bout des doigts, si la source a été prise à l'extrémité « chaude »), 10 cm (pour la main, si la source a été prise à l'extrémité « froide »), 1 m (l'irradiation du tronc pour une estimation de la dose au corps entier), 10 m, 100 m, etc. (pour les estimations de l'exposition des collègues).

D'après une reconstitution de l'incident, il est possible d'estimer l'exposition locale et l'exposition au corps entier (1 mètre) et les conséquences possibles pour chaque employé.

Pour les calculs impliquant la manutention de sources radioactives, il est plus pratique d'exprimer le temps en minutes. Le débit de dose, en Gy par minute à une distance de 1 mètre, serait donc de 117,5 mGy/heure x 1 heure/60 min, ou 1,96 mGy/min. À une distance de 10 cm et de 1 cm, les débits

seraient respectivement de $1,96 \times 10^{2}$ mGy/min et de $1,96 \times 10^{4}$ mGy/min. Ainsi, les débits seraient de $1,96 \times 10^{-2}$ mGy/min et de $1,96 \times 10^{-4}$ mGy/min à 10 et à 100 m respectivement.

Calculs :

Remarque : On conseille aux médecins du travail de demander l'aide de spécialistes en radioprotection compétents pour obtenir des estimations de la dose de rayonnement.

L'exposition dans l'air à une distance d'un mètre d'une source d'iridium 192 de 1 curie (à partir du tableau scientifique) :

0,47 R/heure

Conversion d'un curie en GBq :

1 Ci = 37 GBq

L'exposition dans l'air à une distance d'un mètre d'une source de 925 GBq :

925 GBq x 1 Ci/ 37 GBq x 0,47 R/ heure / Ci = 11,75 R/ heure

Conversion de l'exposition dans l'air à la dose absorbée pour l'iridium 192 (à partir du tableau scientifique) :

I R ≈ 1 rad

Conversion en unités internationales (les mGy sont plus pratiques que les Gy pour l'exposition aux rayonnements en milieu de travail) :

1 rad = 10 mGy

Dose absorbée à une distance d'un mètre :

11,75 R/ heure x 10 mGy/ R = 117,5 mGy/ heure

Débit de dose absorbée à une distance d'un mètre (en mGy par minute) :

117,5 mGy/ heure x 1 heure / 60 min = 1,96 mGy / min

À l'aide de la loi de l'inverse des carrés, voici les débits de dose absorbée obtenus pour les distances suivantes :

100 m = $1{,}96 \times 10^{-4}$ mGy / min
10 m = $1{,}96 \times 10^{-2}$ mGy / min
1 m = 1,96 mGy / min
0,1 m = 19,6 mGy / min
0,01m = 196,0 mGy / min

Se reporter aux parties intitulées Radiation, radioactivité et radionucléides, Effets biologiques, Syndrome d'irradiation aiguë et Expositions localisées aux rayonnements
La dose au corps entier estimée est-elle assez élevée pour avoir un effet immédiat sur la santé (1 Gy) ou pour causer des blessures localisées graves (10 Gy). Les signes cliniques susceptibles de vous aider sont fournis aux parties intitulées Syndrome d'irradiation aiguë et Expositions localisées aux rayonnements.
(Il faut noter qu'il est peu probable que des doses de rayonnement de cette ampleur soient reçues dans des lieux de travail canadiens, mais à des fins d'exhaustivité, cette possibilité sera approfondie plus loin.)

Pour le cas en question, on ne prévoit pas de blessures locales graves parce que le temps de contact direct avec la source était probablement de l'ordre de quelques minutes (c'est pourquoi la connaissance détaillée de l'incident est importante). Une irradiation au corps entier comportant des risques biologiques peut être envisagée que pour le travailleur dans le bureau duquel la source est demeurée. Une dose de près de 1 Gy ne pourrait avoir été reçue que si le travailleur était demeuré assis à une distance d'un mètre de la source de façon continue pendant huit heures.

Si une dose importante était estimée, la confirmation de vos doutes est nécessaire et il faudrait envisager l'hospitalisation. La confirmation de la dose de rayonnement et des conseils sur la gestion des blessures imputables au rayonnement peuvent être obtenus d'un spécialiste en radioprotection d'une centrale nucléaire ou d'un hôpital, d'un médecin spécialisé en médecine nucléaire, d'un radio-oncologue ou d'un agent de radioprotection universitaire. La procédure à suivre pour le traitement d'une blessure localisée causée par le rayonnement est semblable à celle qu'il faut suivre pour les brûlures thermiques : éviter l'infection, contrôler la douleur, immobiliser initialement la blessure et faire une greffe.

Si la victime doit être hospitalisée, vous devrez assurer les administrateurs et le personnel clinique que le patient n'est pas radioactif (si l'on suppose qu'il n'y a eu aucune contamination). Une numération globulaire préliminaire complète (particulièrementune numération des lymphocytes) doit être effectuée et il faut effectuer une prise de sang en vue d'une cytologie, en plus des analyses de

routine. Un examen ophtalmologique du cristallin doit être envisagée si celui-ci a été exposé. On peut trouver des renseignements détaillés à la rubrique Diagnostic et traitement des blessures causées par le rayonnement.

En plus de l'aide offerte par le département de radiothérapie de l'hôpital où a été admise la personne exposée, on peut obtenir des conseils sur les soins à prodiguer en cas de blessures causées par le rayonnement aux endroits suivants :

- L'unité de traumatologie (radiothérapie) du Toronto Hospital (Toronto Western Division) (1-800-668-HELP);

- Le *Radiation Emergency Assistance Centre and Training Site* (REAC/TS) des États-Unis : (423) 576-3131. Le numéro d'urgence 24 heures est le 423-481-1000 (le tableau de contrôle du Methodist Medical Centre dans lequel le REAC/TS se trouve);

- L'agent de liaison médicale de la CCEA (613) 995-1703 (le jour - HNE), (613) 995-0479 (officier en service après les heures de bureau);

- Bureau de la radioprotection, conseiller médical (613) 954-6647 (le jour - HNE).

Si la victime n'est pas hospitalisée, elle a besoin d'être rassurée et de subir des examens de suivi, comme une numération globulaire hebdomadaire pendant 5 semaines, tel que proposé par Andrews, pour documenter l'absence d'atteinte sérieuse. On peut également envisager une analyse cytogénétique pour confirmer l'estimation de dose ou pour rassurer la victime.

DONNER UNE RÉPONSE FINALE

Si l'on dispose d'une estimation de dose et que l'on comprend les préoccupations de l'individu, une réponse finale peut être formulée. Il peut être utile de mettre l'exposition en perspective avec les limites de dose réglementaires. Dans ce cas, les limites de dose sont fixées par la Commission de contrôle de l'énergie atomique (Commission canadienne de sûreté nucléaire), organisme canadien de réglementation des matières radioactives et des installations nucléaires. La limite de dose au travail est de 100 mSv sur 5 ans et de 50 mSv pour un an. Les limites de dose pour les travailleuses enceintes sont plus restrictives afin de protéger le foetus. La limite de dose pour une travailleuse enceinte selon le Règlement sur la Commission canadienne de sûreté nucléaire est de 4 mSv (ce qui équivaut à 2 mSv pour le foetus). Cela diffère légèrement de ce qui est recommandé par les organisations internationales. Étant donné le nombre de jeunes femmes employées dans ce lieu de travail, c'est le moment où jamais de rappeler aux femmes qu'elles sont dans l'obligation d'informer par écrit leur employeur du fait qu'elles sont enceintes dès qu'elles en sont elles-mêmes informées afin que leurs conditions d'emploi soient révisées.

Si une surexposition s'est produite, on peut obtenir des conseils en consultant le GCM-6 Lignes directrices sur l'assistance à offrir en cas de surexpositions professionelles aux rayonnements ionisants.

CAS LIÉ À L'EXPOSITION

ÉTUDE DE CAS 3 : Irradiation externe - Exposition chronique

Un commis des services administratifs de l'hôpital vous aborde. Elle dit que son bureau se trouve juste en dessous du département de médecine nucléaire et s'inquiète du fait qu'elle pourrait être exposée. Elle se demande pourquoi elle n'est pas visée par le programme de dosimétrie. Comment pouvez-vous répondre à ses préoccupations?

Le texte suivra l'algorithme présenté à la Figure 1 et à la Figure 2.

ÉCLAIRCIR ET CONFIRMER LA QUESTION/PRÉOCCUPATION

Avant d'enquêter, il est bon de se demander pourquoi des préoccupations sont soulevées à ce moment-ci. Un incident s'est-il produit ou y a-t-il quelqu'un dans son entourage qui est atteint d'un cancer?

Il est important de prendre le temps de déterminer quelles sont les préoccupations des travailleurs potentiellement affectés. Leurs préoccupations pourraient être liées davantage au risque accru de cancer et aux conséquences néfastes pour la reproduction qu'aux conséquences immédiates de l'exposition. Même les travailleurs expérimentés qui travaillent avec des radionucléides depuis longtemps peuvent avoir des préoccupations et des craintes auxquelles on ne s'attendrait pas.

Enfin, les travailleurs doivent avoir la certitude qu'ils obtiennent les soins appropriés et l'information pertinente.

DONNER UNE RÉPONSE PROVISOIRE

Indiquez la manière dont vous avez compris les préoccupations et questions qui demanderont une réponse lors du suivi. Donnez un échéancier pour les réponses.

PRÉPARER UNE RÉPONSE FINALE

A-t-on remarqué un effet particulier sur la santé? Aucun effet particulier sur la santé n'a été observé.

Consultez les cas liés aux expositions de la partie Études de cas du présent guide.
(Vous vous trouvez présentement dans cette partie.)

Y a-t-il une préoccupation particulière quant à l'exposition?
Il sera important d'avoir une idée de l'exposition aux rayonnements de la travailleuse afin de répondre à ses préoccupations qui sont dues au fait qu'elle se trouve à proximité du département de médecine nucléaire et à ce qu'elle n'est pas visée par le programme de dosimétrie. Il est essentiel d'éclaircir ces préoccupations et pour résoudre cette question de manière satisfaisante.

Classer l'exposition
La travailleuse s'inquiète de l'exposition continue (chronique) aux rayonnements imputable au département de médecine nucléaire situé au-dessus de son bureau qu'elle pourrait subir. Le département de médecine nucléaire peut utiliser des sources de rayonnement scellées et non scellées. Il existe de nombreuses voies d'exposition dans un département de médecine nucléaire, mais pour le travailleur qui se trouve à l'étage en dessous, la seule préoccupation est celle du rayonnement externe imputable aux sources gamma. Elle n'aura pas de contact avec des matières radioactives ni de contact régulier avec des patients qui ont été traités avec des matières radioactives et qui sont eux-mêmes légèrement radioactifs. Par conséquent, il n'y a aucun risque de contamination externe ou interne.

Quantifier/estimer l'exposition (à l'aide d'un spécialiste en radioprotection)
Pour estimer la dose reçue par les travailleurs qui se trouvaient près de la source, on aura besoin des renseignements suivants :

(a) la **source** :
Une visite du lieu de travail ainsi que du département de médecine nucléaire permettrait d'examiner le contexte et d'obtenir d'autres renseignements comme les facteurs psychosociaux ainsi que l'environnement physique. Une entrevue avec l'agent de contrôle des rayonnements serait utile pour examiner les procédures de contrôle des rayonnements, de surveillance et de dosimétrie du département de médecine nucléaire. L'agent de radioprotection pourrait mesurer les niveaux d'irradiation dans le bureau durant les heures d'ouverture du département. Enfin, l'aménagement et le blindage du département de médecine nucléaire pourraient être examinés.

(b) les **circonstances** :
D'autres personnes pensent-elles être exposées à un risque potentiel? Si oui, depuis quand?

Se reporter aux parties intitulées : Rayonnement, radioactivité et radionucléides et Effets biologiques
Il devrait maintenant être possible de déterminer le risque associé à l'exposition le plus défavorable. S'il est minime, il faut rassurer la personne. Si ses préoccupations subsistent, peut-être qu'un essai de dosimétrie la rassurerait. S'il y a lieu de s'inquiéter, veillez à ce que le cadre supérieur, l'agent de santé et de sécurité et le comité de sûreté soient informés par l'agent de radioprotection. Un soutien psychologique concernant les risques à long terme imputables à l'exposition devrait être apporté, selon les circonstances et le niveau d'anxiété.

DONNER UNE RÉPONSE FINALE
En plus d'estimer la dose et de reformuler les préoccupations de l'individu, une réponse finale devrait être donnée. Il peut être utile de placer l'exposition en perspective avec les limites de doses pour les membres du public. L'utilisation de matières radioactives dans les départements de médecine nucléaire des hôpitaux est réglementée par la Commission de contrôle de l'énergie atomique (Commission canadienne de sûreté nucléaire) et la limite de dose annuelle pour les membres du public à une telle activité est fixée à 1 mSv.

CAS LIÉ À L'EXPOSITION

ÉTUDE DE CAS 4 : Contamination externe - Exposition aiguë

Vous êtes médecin et occupez un poste de médecine nucléaire dans un laboratoire universitaire. Une scientifique vous appelle parce qu'elle vient tout juste d'avoir un accident. Elle était en train de mélanger sous une hotte une solution de « radio-isotope » utilisée comme marqueur. La solution dans le flacon, qui aurait normalement dû être claire, a soudainement viré au brun et a commencé à dégager de la fumée. Le flacon a volé en éclats et des éclats de verre sont restés dans sa main. L'ambulance a été appelée, mais les ambulanciers ont refusé de l'emmener en prétextant qu'elle était radioactive. Que devrait-on faire?

Le texte suivra l'algorithme présenté à la Figure 1 et à la Figure 2.

ÉCLAIRCIR ET CONFIRMER LA QUESTION/PRÉOCCUPATION

Il est important de prendre le temps de déterminer quelles sont les préoccupations des travailleurs potentiellement touchés. Leurs préoccupations pourraient être liées davantage au risque accru de cancer et aux conséquences néfastes pour la reproduction qu'aux conséquences immédiates de l'exposition. Même les travailleurs expérimentés qui travaillent avec des radionucléides depuis longtemps peuvent avoir des préoccupations et des craintes auxquelles on ne s'attendrait pas. Enfin, les travailleurs doivent avoir la certitude qu'ils obtiennent les soins appropriés et l'information pertinente.

Dans ce cas, nous sommes en présence d'un état pathologique qui doit être examiné de près. Il est également question de la préoccupation des ambulanciers qui se demandent s'ils doivent prendre soin de la personne. Ces deux situations nécessitent une attention immédiate. L'employée touchée peut avoir des préoccupations ou des craintes sur-le-champ, ou les exprimer un peu plus tard. Il sera important de garder un contact avec l'employée pendant la période du traitement pour dissiper toute préoccupation immédiate. L'éclaircissement de toute autre préoccupation peut se faire plus tard.

DONNER UNE RÉPONSE PROVISOIRE

L'administration des premiers soins peut se faire sur le lieu de travail. Une décontamination partielle sur le lieu de travail est possible si les blessures ne sont pas graves. Le degré de précautions requis pour limiter l'étendue de la contamination lorsque le travailleur est transporté à l'hôpital dépendra des caractéristiques du radio-isotope.

Après le traitement, et une fois que les préoccupations auront été éclaircies, indiquez la manière dont vous avez compris les préoccupations et questions qui demanderont une réponse lors du suivi. Donnez un échéancier pour les réponses.

PRÉPARER UNE RÉPONSE FINALE

A-t-on remarqué un effet particulier sur la santé? À part la blessure immédiate, aucun effet sur la santé résultant du rayonnement n'a été observé.

Consultez les cas liés aux expositions de la partie Études de cas du présent guide.

(Vous vous trouvez présentement dans cette partie.)

Y a-t-il une préoccupation particulière quant à l'exposition?
Une matière radioactive a été déversée et est entrée en contact avec la peau et avec une blessure. Il sera important de déterminer si l'exposition (dose absorbée potentielle) est importante parce qu'elle déterminera l'urgence et le niveau de l'intervention médicale. Cette information est également importante pour régler les préoccupations particulières des personnes concernées et pour résoudre cet incident de manière satisfaisante.

Classer l'exposition
Il s'agit d'un cas de contamination externe de la peau, et possiblement des vêtements, et de contamination interne par le biais d'une blessure. Toute matière radioactive sur la peau continuera à irradier l'individu jusqu'à ce qu'elle soit enlevée.

Le but du traitement est de réduire la dose de rayonnement en décontaminant les tissus touchés le plus rapidement possible et de réduire la dispersion du contaminant radioactif.

Les zones de la peau et de la blessure doivent être contrôlées pour déterminer leur contamination par le rayonnement (un spécialiste en radioprotection devrait être consulté si possible). Avant tout, il faut décontaminer les blessures. Comme la personne tenait du verre dans sa main, les coupures de la peau sont devenues des points d'entrée pour la contamination interne. Les zones de blessures doivent être nettoyées avec une solution saline, du H_2O_2, ou du Betadine. Les morceaux de verre qui semblent facilement accessibles doivent être retirés pour permettre le lavage des blessures. La solution employée pour la décontamination et les fragments de verre qui sont enlevés doivent être conservés car ils peuvent être utiles pour déterminer la nature du radionucléide et son activité (si elle n'est pas connue).

Enfin, la peau saine entourant la blessure doit être lavée à l'eau fraîche pour réduire la contamination de surface et l'empêcher de s'étendre. Du savon et de l'eau, du Phisoderm, du H_2O_2 Chlorox, ou un mélange de semoule de maïs et de Tide peuvent convenir.

On peut obtenir de plus amples renseignements dans les parties intitulées Évaluation et traitement de la contamination externe et interne et Guidebook for the Treatment of Accidental Internal Radionuclide Contamination of Workers.

Quantifier/estimer l'exposition (à l'aide d'un spécialiste en radioprotection) Pour estimer la dose de rayonnement reçue à la peau ou au corps entier, on aura besoin des renseignements suivants :

(a) la **source** : Quelle est la source? Quelle est son activité?
Habituellement, les substances radioactives qui sont utilisées comme marqueurs ont une activité faible et sont des émetteurs bêta, à l'exception de l'iode 125 qui émet un rayonnement gamma. À part le risque de contamination, le travailleur blessé ne présente que peu de risques pour le personnel des soins de santé. On peut trouver des renseignements sur la manipulation des victimes qui sont contaminées par des matières radioactives dans le document intitulé GCM-3 Lignes directrices pour les plans d'urgence des hôpitaux aux fins de la gestion des accidents radiologiques mineurs.

Un spécialiste en radioprotection doit être consulté pour estimer la dose de rayonnement. Il existe des tableaux dans certaines publications comme le Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook qui peuvent aider à estimer la dose à la peau provenant de sources non scellées.
La dose interne imputable à l'incorporation admise par la blessure peut être plus difficile à estimer et peut nécessiter le recours à des techniques comme les essais biologiques sur des échantillons d'urine.

(b) les **circonstances** : Quelle surface de peau a été exposée? Pendant combien de temps avant que la décontamination soit efficace?

Se reporter aux parties intitulées Radiation, radioactivité et radionucléides, et Effets biologiques.

DONNER UNE RÉPONSE FINALE
Si l'on dispose d'une estimation de dose et que l'on comprend les préoccupations de l'individu, une réponse finale peut être formulée.

CAS LIÉ À L'EXPOSITION

ÉTUDE DE CAS 5 : Contamination interne - Exposition aiguë

Une soupape saute dans le bâtiment d'un réacteur de recherche et libère une petite quantité d'un mélange de radio-isotopes dans le bâtiment sous forme de vapeur. Les vêtements de plusieurs personnes ont été contaminés. Les tampons ayant servi au prélèvement nasal attestent d'une contamination. Les physiciens tentent de déterminer la nature du mélange de radio-isotopes présents dans la vapeur. Que doit-on faire de plus? Quel genre de suivi entendez-vous faire dans ce cas?

Le texte suivra l'algorithme présenté à la Figure 1 et à la Figure 2.

ÉCLAIRCIR ET CONFIRMER LA QUESTION/PRÉOCCUPATION

Il est important de prendre le temps de déterminer quelles sont les préoccupations des travailleurs potentiellement touchés. Leurs préoccupations pourraient être liées davantage au risque accru de cancer et aux conséquences néfastes pour la reproduction qu'aux conséquences immédiates de l'exposition. Même les travailleurs expérimentés qui travaillent avec des radionucléides depuis longtemps peuvent avoir des préoccupations et des craintes auxquelles on ne s'attendrait pas. Enfin, les travailleurs doivent avoir la certitude qu'ils obtiennent les soins appropriés et l'information pertinente.

DONNER UNE RÉPONSE PROVISOIRE

L'administration des premiers soins peut se faire sur le lieu de travail si nécessaire. Une décontamination externe partielle sur le lieu de travail est possible - il suffit de retirer les vêtements et de décontaminer la peau. On peut obtenir des renseignements sur les méthodes de décontamination externe dans le Guidebook for the treatment of accidental internal radionuclide contamination of workers. L'examen des tampons ayant servi au prélèvement nasal laisse supposer qu'une contamination interne a eu lieu par inhalation, mais d'autres voies de contamination sont également possibles. Un traitement devra peut-être être administré et devrait être envisagé en priorité.

Après le traitement, et une fois que les préoccupations auront été examinées, indiquez la manière dont vous avez compris les préoccupations et questions qui demanderont une réponse lors du suivi. Donnez un échéancier pour les réponses.

PRÉPARER UNE RÉPONSE FINALE

A-t-on remarqué un effet particulier sur la santé? Même s'il y a eu contamination, on n'a identifié aucun effet immédiat sur la santé résultant du rayonnement.

Consultez les cas liés aux expositions de la partie Études de cas du présent guide.
(Vous vous trouvez présentement dans cette partie.)

Y a-t-il une préoccupation particulière quant à l'exposition?
Il y a eu contamination de surface et on observe également des signes de contamination interne. Il sera important de déterminer si l'exposition (la dose absorbée potentielle) est importante car c'est cela qui déterminera l'urgence et le niveau de l'intervention médicale. Cette information est également importante pour régler les préoccupations particulières des personnes en cause et pour résoudre cet incident de manière satisfaisante

Classer l'exposition
L'exposition à un mélange de radio-isotopes est une préoccupation potentielle pour la santé. Dans ce cas, on sait qu'une exposition particulière à un mélange de radio-isotopes sous forme de vapeur est survenue. Il pourrait donc y avoir eu à la fois contamination externe et contamination interne par inhalation.

Il faut éloigner les travailleurs de la source de contamination le plus vite possible et les travailleurs qui sont contaminés doivent appliquer immédiatement les procédures de décontamination (retirer les vêtements, prendre des douches, se laver les yeux) pour réduire au minimum le temps d'exposition de la peau et des muqueuses. Cela réduira la dose finale. Toute matière excrétée (urine, fèces, vomissures) devrait également être conservée jusqu'à nouvel ordre. (Des mesures correctrices et une enquête sur l'accident devraient être amorcées en prenant les mesures de précautions appropriées, comme les combinaisons, les appareils respiratoires, etc.)

Les radio-isotopes qui se trouvent dans le corps continueront d'irradier le corps jusqu'à ce qu'ils se désintègrent physiquement ou qu'ils soient éliminés du corps.

Quantifier/estimer l'exposition (à l'aide d'un spécialiste en radioprotection)
Pour estimer la dose reçue par les travailleurs qui se trouvaient près de la source, on aura besoin des renseignements suivants :

(a) la **source** : Quels sont les radio-isotopes mélangés? Quelle est leur activité?

La détermination de la nature des radio-isotopes présents dans le mélange sera faite par des physiciens à la centrale nucléaire. Le réacteur CANDU utilisé au Canada diffère d'autres types de réacteurs en raison de la quantité et du type de produits de fission qu'il génère. Il existe de nombreux radionucléides classés comme étant des produits de fission. Leur filiations radioactivs diffèrent et les voies métaboliques qu'ils suivent dans le corps diffèrent également.

L'estimation de l'absorption et les estimations subséquentes de la dose dans le cas qui nous occupe est extrêmement complexe. Les spécialistes en radioprotection ont recours à des méthodes d'essai biologique pour estimer la contamination interne et mesurent la radioactivité dans les matières excrétées (urine, fèces, vomissures), dans d'autres échantillons biologiques, ou encore par des mesures directes *in-vivo*.

Les mesures *in-vivo* sont les plus souhaitables lorsque cela est possible, car elles mesurent ce qui se trouve dans le corps. Cependant, elles sont coûteuses et ne sont pas toujours possibles, notamment lorsque les émissions du radionucléide n'ont pas un pouvoir de pénétration assez grand. Les radionucléides qui émettent des photons hautement énergétiques devraient être mesurés au moyen

d'une analyse *in-vivo* réalisée à l'aide d'un anthroporadiamètre. Les radionucléides qui se désintègrent uniquement en émettant des particules bêta à faible énergie ne peuvent être mesurés de cette manière à moins d'être accompagnés d'une émission de photons possédant des caractéristiques énergétiques qui peuvent servir à déterminer la nature du radionucléide.

Lorsque d'autres méthodes comme l'analyse d'urine sont utilisées (pour les radionucléides qui sont excrétés), les incorporations doivent être estimées à partir de la mesure des matières excrétées, en suivant des modèles complexes. Les limites annuelles d'incorporation (LAI) pour les radionucléides ont été publiées par la Commission internationale de protection radiologique. La LAI est l'incorporation en un an de radionucléides qui résultera en une dose effective de 20 mSv pour l'Homme de référence.

Une estimation de la dose peut être faite en consultant les tableaux illustrant la dose engagée par unité d'incorporation qui figurent dans les publications 30, 61 et 67-68 de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Les coefficients de dose sont dérivés principalement de données humaines ainsi que d'études de laboratoire sur des animaux en suivant des méthodes bio-cinétiques normalisées et des modèles de référence humains.

On peut obtenir des renseignements sur les ressources pour le comptage du corps entier et les essais biologiques dans la partie intitulée Surveillance humaine et essais biologiques.

(b) les **circonstances** : Des mesures thérapeutiques ont-elles été prises pour diminuer la dose reçue par les travailleurs touchés?

À titre de guide général, lorsque la dose engagée estimée pour un organe dépasse 2,5 Sv ou que la dose effective engagée dépasse à 250 mSv, il faut envisager des mesures thérapeutiques. Si une incorporation importante d'iode radioactif est présumée, il faut prendre le plus rapidement possible des comprimés d'iodure de potassium prophylactique pour bloquer l'incorporation d'iode radioactif par la glande thyroïde. D'autres mesures thérapeutiques sont discutées dans la partie intitulée Traitement des surexpositions aux rayonnements. Il faut noter que tous les produits recommandés pour cette utilisation ne sont pas nécessairement approuvés au Canada. L'approbation relative à un produit dans le but de constituer des stocks pour les cas d'urgence peut prendre beaucoup de temps.

Les estimations de la dose engagée pour un organe ou de la dose effective engagée sont modifiées à mesure qu'un plus grand nombre de renseignements deviennent accessibles pendant le traitement (résultats de nouveaux essais biologiques).

Se reporter aux parties intitulées Radiation, radioactivité et radionucléides, et Effets biologiques.

La contamination interne est assez élevée pour causer des effets aigus, mais cela est peu probable dans le scénario précité. Pour de plus amples renseignements, consultez les parties intitulées Effets biologiques et Syndrome d'irradiation aiguë.

DONNER UNE RÉPONSE FINALE

Si l'on dispose d'une estimation de dose et que l'on comprend les préoccupations de l'individu, une réponse finale peut être formulée. Si une surexposition s'est produite, on peut obtenir des conseils en consultant le GCM-6 Lignes directrices sur l'assistance à offrir en cas de surexpositions professionelles aux rayonnements ionisants.

CAS LIÉ À L'EXPOSITION

ÉTUDE DE CAS 6 : Contamination interne - Exposition chronique

Récemment, un hygiéniste a décidé de vérifier la présence de radon dans le sous-sol de l'immeuble de votre bureau. Les mésures révèlent que les niveaux sont élevés. Plusieurs personnes travaillent dans le sous-sol toute la journée. Que leur dites-vous?

Le texte suivra l'algorithme présenté à la Figure 1 et à la Figure 2.

ÉCLAIRCIR ET CONFIRMER LA QUESTION/PRÉOCCUPATION

Il est important de prendre le temps de déterminer quelles sont les préoccupations des travailleurs potentiellement touchés. Leurs préoccupations pourraient être liées davantage au risque accru de cancer et aux conséquences néfastes pour la reproduction qu'aux conséquences immédiates de l'exposition. Même les travailleurs expérimentés qui travaillent avec des radionucléides depuis longtemps peuvent avoir des préoccupations et des craintes auxquelles on ne s'attendrait pas. Enfin, les travailleurs doivent avoir la certitude qu'ils obtiennent les soins appropriés et l'information pertinente.

DONNER UNE RÉPONSE PROVISOIRE

Indiquez les manière dont vous avez compris les préoccupations et questions qui demanderont une réponse lors du suivi. Donnez un échéancier pour les réponses.

PRÉPARER UNE RÉPONSE FINALE

A-t-on remarqué un effet particulier sur la santé? Aucun effet particulier sur la santé n'a été identifié.

Consultez les cas liés aux expositions de la partie Études de cas du présent guide.
(Vous vous trouvez présentement dans cette partie.)

Y a-t-il une préoccupation particulière quant à l'exposition?
Les travailleurs ont respiré de l'air comportant des concentrations élevées de radon gazeux. Il ne s'agit pas réellement d'un cas de contamination interne, puisque le radon gazeux est très répandu, mais la question soulevée dans le présent cas est celle de l'irradiation interne des poumons.

Il sera important de déterminer si l'exposition est importante car c'est elle qui déterminera la nécessité d'une intervention. Cette information est également importante pour régler les préoccupations particulières des personnes concernées; elle est essentielle pour mener à bien l'intervention.

Classer l'exposition
Il a été déterminé que l'exposition au radon à l'intérieur de l'immeuble est supérieure à une limite désignée. Dans des lieux de travail qui diffèrent des mines d'uranium, ou dans des immeubles sous juridiction fédérale, les expositions en milieu de travail au radon sont la responsabilité des autorités provinciales en matière de santé au travail. Pour les employés fédéraux, l'exposition au radon se

limite à 800 Bq/m³ » (Gazette du Canada, Partie II, Vol. 130, nº 13, le paragraphe 10.26(4) de la *Loi canadienne en matière de santé et de sécurité au travail* stipule que *« Aucun employé, autre qu'un travailleur du secteur nucléaire, tel que défini dans la réglementation sur le contrôle de l'énergie atomique, ne sera exposé en un an à une concentration de radon qui, en moyenne, à la fin de l'année, est supérieure à 800 Bq/m³."*) La Commission internationale de protection radiologique a proposé que 500 à 1500 Bq/m³ soit le niveau d'intervention pour les lieux de travail.

Quantifier/estimer l'exposition

L'hygiéniste aura mesuré la concentration du radon pendant une courte période, ce qui est utile comme outil de dépistage. Cependant, pour obtenir une évaluation de l'exposition personnelle, une période de mesure prolongée d'un an est recommandée en raison de la variation saisonnière importante [CM97].

Après avoir effectué les mesures appropriées, il faut déterminer la nécessité des mesures correctrices. Les expositions individuelles peuvent être évaluées à l'aide d'un facteur de conversion [IC93]. Les coefficients de risques établis peuvent alors être utilisés pour estimer le risque de cancer imputable à une exposition continue au niveau mesuré.

Se reporter aux parties intitulées Radiation, radioactivité et radionucléides, et Effets biologiques

DONNER UNE RÉPONSE FINALE

Si l'on dispose d'une estimation de dose et que l'on comprend les préoccupations de l'individu, une réponse finale peut être formulée.

Des renseignements généraux sur le radon devront être donnés aux travailleurs et, selon la politique de santé et sécurité au travail, les employés devront peut-être être retirés du sous-sol en attendant qu'on se soit fait une idée plus précise de l'exposition [CM97].

CAS LIÉ À L'EXPOSITION

ÉTUDE DE CAS 7 : Irradiation externe : Rayonnement cosmique

Vous occupez le poste de médecin du travail dans une compagnie aérienne. Vous apprenez en écoutant un reportage que le personnel navigant peut recevoir des doses de rayonnements plus élevées que certains travailleurs sous rayonnements. Quelques pilotes et agents de bord communiquent avec vous pour savoir s'ils devraient utiliser des détecteurs de rayonnements afin de savoir quelle quantité de rayonnements ils reçoivent.

Le texte suivra l'algorithme présenté à la Figure 1 et à la Figure 2.

ÉCLAIRCIR ET CONFIRMER LA QUESTION/PRÉOCCUPATION

Il est important de prendre le temps de déterminer quelles sont les préoccupations des travailleurs potentiellement touchés. Leurs préoccupations pourraient être liées davantage au risque accru de cancer et aux conséquences néfastes pour la reproduction qu'aux conséquences immédiates de l'exposition. Même les travailleurs expérimentés qui travaillent avec des radionucléides depuis longtemps peuvent avoir des préoccupations et des craintes auxquelles on ne s'attendrait pas. Enfin, les travailleurs doivent avoir la certitude qu'ils obtiennent les soins appropriés et l'information pertinente.

DONNER UNE RÉPONSE PROVISOIRE

Indiquez la manière dont vous avez compris les préoccupations et questions qui demanderont une réponse lors du suivi. Donnez un échéancier pour les réponses.

Si vous disposez déjà de documentation écrite sur le rayonnement cosmique, vous pourriez la donner maintenant. Dans la réponse finale, vous devrez fournir des renseignements détaillés sur l'exposition individuelle et sur les risques.

PRÉPARER UNE RÉPONSE FINALE

A-t-on remarqué un effet particulier sur la santé? Aucun effet particulier sur la santé n'a été observé.

Consultez les cas liés aux expositions de la partie Études de cas du présent guide.
(Vous vous trouvez présentement dans cette partie.)

Y a-t-il une préoccupation particulière quant à l'exposition?

Le personnel navigant et les passagers sont davantage exposés au rayonnement cosmique aux altitudes de vol qu'au niveau de la mer. Il est possible que l'exposition annuelle du personnel navigant aux rayonnements pendant les activités professionnelles dépasse celle de certains travailleurs sous rayonnement.

Le rayonnement cosmique est principalement constitué de particules chargées (essentiellement des protons et les particules alpha) qui se déplacent dans l'espace. Comme ces particules interagissent avec l'atmosphère de la Terre, elles produisent des particules secondaires dont la composition diffère. À mesure que ces particules approchent de la surface de la Terre, elles sont atténuées (diffusées et absorbées) dans l'atmosphère qui agit comme un matériau de blindage. Par conséquent,

l'altitude est un facteur important pour déterminer la dose de rayonnement. Par exemple, le débit de dose de rayonnement à 40 000 pieds (12 km) est environ 40 % du débit à 70 000 pieds (21 km).

Le champ magnétique terrestre influe également sur le rayonnement reçu puisqu'il peut dévier les particules chargées qui arrivent, faisant ainsi de la latitude de vol un facteur important. Pour une altitude donnée, le débit de dose de rayonnement au-dessus des pôles est environ le double de celui au-dessus de l'équateur. Dans la pratique, cela signifie que les passagers d'un vol dans l'Atlantique Nord entre le Canada et l'Europe recevront davantage de rayonnement cosmique qu'un vol à la même altitude entre le Canada et le Mexique.

Le champ magnétique terrestre est affecté par l'activité du soleil qui a un cycle d'environ onze ans. Durant les périodes de faible activité solaire, le champ magnétique du soleil est moins intense et, par conséquent, moins efficace en ce sens qu'il dévie les rayons cosmiques galactiques et les empêche de pénétrer dans notre système solaire, ce qui résulte en une dose de rayonnement cosmique plus grande.

À l'occasion, des éruptions solaires se produisent et donnent lieu à des doses élevées pendant de courtes périodes de temps. Les éruptions solaires ne peuvent être prévues avec une grande précision, même si elles fluctuent proportionnellement à l'activité solaire. C'est seulement à des altitudes très élevées, comme celles auxquelles le Concorde (avion supersonique de transport) se déplace, soit 49 000 à 59 000 pieds (15 à 18 km) que les éruptions pourraient contribuer à augmenter considérablement la dose.

Voici des exemples de doses qui pourraient être imputables au rayonnement cosmique lors de certains vols de transporteurs canadiens de type courant :

Région de vols mondiaux regroupés	Exemple de trajet	Durée prévue du vol	Dose reçue pendant le trajet (μSv)
Transpacifique	Beijing-Vancouver	10 h 40 min	44 (+/- 10)
Transatlantique	Vancouver-Londres	9 h 06 min	39 (+/- 16)
Trans-Canada	Toronto-Vancouver	4 h 26 min	21 (+/- 6)
Caraïbes	Cancun-Toronto	3 h 37 min	21 (+/- 4)
Nord du Canada	Ottawa-Iqaluit	2 h 50 min	11 (+/- 4)

La nécessité d'une intervention sera déterminée par l'exposition du personnel navigant. Une telle information est également importante pour régler les préoccupations des personnes concernées et pour mener à bien l'intervention.

Classer l'exposition

Il n'existe pas de réglementation particulière au Canada qui se rapporte à l'exposition au rayonnement cosmique. Les associations internationales de radioprotection, comme la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) proposent que l'exposition en milieu de travail au rayonnement cosmique durant les vols en avion à réaction soit traitée comme d'autres expositions au rayonnement en milieu de travail. La CIPR recommande une limite de dose d'irradiation professionnelle de 20 mSv par année (moyenne établie sur 5 ans). C'est la limite de dose d'irradiation professionnelle qui devrait être adoptée pour les travailleurs canadiens du secteur nucléaire en vertu de la nouvelle *Loi*

sur la sûreté et la réglementation nucléaire (qui devrait entrer en vigueur vers la fin de 1999). La limite de dose d'irradiation professionnelle actuelle au Canada est de 50 mSv. De même, les limites de dose au public pour les expositions qui surviennent lors d'activités autorisées par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (qui porte actuellement le nom de Commission de contrôle de l'énergie atomique) devraient passer de 5 mSv à 1 mSv par année.

La CIPR recommande également que l'exposition au rayonnement des femmes enceintes soit limitée davantage pour protéger l'embryon ou le fétus. La dose de rayonnement équivalente pour l'embryon ou le fétus devrait se limiter à environ 1 mSv pour le reste de la grossesse.

Quantifier/estimer l'exposition

Il existe beacoup d'information dans la documentation scientifique sur l'exposition au rayonnement cosmique pendant les vols en avion à réaction. Récemment, le Collège militaire royal du Canada a réalisé une étude approfondie de l'irradiation à bord de plusieurs avions canadiens effectuant des vols nationaux et internationaux. Ces travaux ont permis de constituer une base de données des doses associées aux trajets et d'élaborer un algorithme servant à estimer la dose de rayonnement cosmique individuelle d'après les paramètres de vols. Au cours de l'étude, quelques membres du personnel navigant ont mesuré leur exposition individuelle aux rayonnements à l'aide de dosimètres personnels pendant des périodes qui ont pu atteindre à un an. Les résultats indiquent que la plupart des membres du personnel navigant qui effectuent des vols canadiens nationaux et internationaux reçoivent une dose effective annuelle supérieure à 1 mSv, mais qui ne dépasse pas 5 mSv. Même si ces limites de doses d'irradiation professionnelle sont bien inférieures aux limites de dose d'irradiation professionnelle précisées ailleurs, elles dépassent les doses recommandées pour les travailleuses enceintes. Pour mettre l'exposition en perspective, il peut être utile de souligner que nous recevons au Canada une dose d'un peu plus de 2 mSv par année imputable au rayonnement naturel. Le rayonnement cosmique qui en fait partie, au niveau de la mer, est d'environ 0,3 mSv.

Même si nous ne disposons pas d'évaluation de la dose individuelle, l'information précitée devrait être suffisante pour expliquer les risques associés à l'exposition au rayonnement cosmique. On peut obtenir de plus amples renseignements à la partie intitulée Estimation des risques. La composition du rayonnement cosmique diffère de celle des rayonnements présents dans la plupart des activités terrestres. Cependant, lorsque la dose est exprimée sous forme de dose effective, on tient compte de la nature différente de ce rayonnement et on estime que l'estimation du risque est toujours applicable. Certaines études épidémiologiques sur le personnel navigant exposé au rayonnement cosmique ont été réalisées et d'autres sont en cours. Jusqu'à présent, les résultats sont incompatibles entre eux et il est difficile de les interpréter en raison des expositions combinées.

Comme certains travailleurs peuvent demander une surveillance individuelle, il est important de noter que la dose reçue à bord d'un avion sera à peu près la même, peu importe l'endroit où il se trouve dans l'avion. On surveille la dose à l'aide de dosimètres personnels; il n'est donc pas nécessaire d'obtenir d'estimation de la dose. Il suffit de connaître les antécédents de vol d'un individu et de disposer d'une base de données des doses reçues pendant les trajets. Cependant, une base de données comme celle-là devra être validée périodiquement, si ce n'est que pour tenir compte des changements dans le cycle solaire.

DONNER UNE RÉPONSE FINALE

Si l'on dispose d'une estimation de dose annuelle et que l'on comprend les préoccupations de l'individu, une réponse finale peut être formulée. Il conviendrait de donner des renseignements généraux sur le rayonnement cosmique aux travailleurs concernés.

CAS LIÉ À LA SANTÉ

ÉTUDE DE CAS 1 : Cancer

Un cas vous est soumis par un syndicat. Un de leurs membres travaille dans l'industrie radiopharmaceutique. On a récemment diagnostiqué dans son cas une tumeur au testicule. Le syndicat aimerait connaître votre opinion concernant l'indemnité relative à son état. Il se sent bien maintenant, et veut retourner au travail. Peut-il retourner sans problèmes à ce travail où il est exposé aux rayonnements? Il dit qu'il a reçu beaucoup de rayons X et subi d'autres examens pendant son traitement contre le cancer.

Le texte suivra l'algorithme présenté à la Figure 1 et à la Figure 2.

ÉCLAIRCIR ET CONFIRMER LA QUESTION/PRÉOCCUPATION
Prendre le temps de déterminer quelles sont les préoccupations des travailleurs. Même les travailleurs expérimentés qui travaillent avec des radionucléides depuis longtemps peuvent avoir des préoccupations et des craintes auxquelles on ne s'attendrait pas.

Enfin, les travailleurs doivent avoir la certitude qu'ils obtiennent les soins appropriés et l'information pertinente.

DONNER UNE RÉPONSE PROVISOIRE
Indiquez la manière dont vous avez compris les préoccupations et questions qui demanderont une réponse lors du suivi. Donnez un échéancier pour les réponses.

PRÉPARER UNE RÉPONSE FINALE

A-t-on remarqué un effet particulier sur la santé? Oui. L'effet sur la santé dans ce cas est un cancer du testicule.

Consultez les cas liés aux expositions de la partie Études de cas du présent guide.
(Vous vous trouvez présentement dans cette partie.)

Existe-t-il déjà des documents accompagnés d'outils de communication pertinents?
Vérifier la partie intitulée Questions posées fréquemment. Ces questions pourraient être utiles lors des séances d'orientation.

Effectuer des recherches
Voir la partie intitulée Où peut-on obtenir de plus amples renseignements.

Le cancer est l'effet sur la santé le plus important de faibles expositions aux rayonnements de faible intensité. On peut formuler deux hypothèses fondamentales sur le cancer radioinduit : d'abord, on croit que toute dose, si faible soit-elle, augmente le risque de cancer, et ensuite, on estime que le risque augmente avec la dose. Le risque accru d'un cancer fatal causé par l'exposition au rayonnement en milieu de travail a été estimé par la Commission internationale de protection radiologique comme étant de 4,0 %/Sv lorsque le rayonnement est distribué uniformément dans l'ensemble du corps. Le

risque accru de préjudice total pour la santé causé par tous les effets tardifs du rayonnement est de 5,6 %/Sv (ce chiffre comprend tous les cancers et effets héréditaires).

Même si l'on sait que certains individus ont une sensibilité plus grande aux rayonnements que d'autres en raison d'un défaut chromosomique (p. ex. ataxie-télangiectasie), il n'existe aucune façon aujourd'hui de prouver ou de réfuter de manière non équivoque une allégation à l'effet qu'une tumeur maligne est causée par une exposition particulière aux rayonnements. Une démarche a été mise au point pour estimer la probabilité qu'un cancer soit causé par l'exposition aux rayonnements, et cette probabilité est connue sous le nom de probabilité de causalité. Il s'agit d'une méthode épidémiologique qui tient compte de l'âge, du sexe, du temps écoulé depuis l'exposition, du type de malignité et de la dose. L'utilisation des estimations de la probabilité de causalité à effet (PDC) peut être utile au moment d'allouer des indemnités à des individus qui ont été exposés aux rayonnements en milieu de travail. Dans de nombreuses provinces canadiennes, un système de « faveur par inférence » envers les travailleurs est utilisé, et aucun calcul de PDC n'est effectué. Dans de tels cas, on présume que la maladie a été causée par l'exposition si le travailleur peut confirmer l'exposition et présenter un certificat médical qui confirme la malignité. Dans certaines provinces, une exposition minimale est requise pour d'allouer une compensation.

De façon générale, le cancer radioinduit se développe à la suite d'une période de latence. La période de latence minimale pour la leucémie est d'environ 2 ans, mais la moyenne est établie à environ 8 à 10 ans. Dans le cas des tumeurs importantes, la latence minimale est de 10 ans, mais il n'est pas rare qu'elle soit de plus de vingt ans. Comme la fréquence de pointe du cancer du testicule se situe entre les âges de 20 et 35 ans, il est peu probable qu'une exposition suffisamment longue aux rayonnements en milieu de travail ait augmenté le risque.

Certaines tumeurs semblent être plus souvent causées par les rayonnements que d'autres. La leucémie semble être la première à apparaître. Les tumeurs du poumon, du sein ou de la thyroïde semblent être directement induites par le rayonnement. D'après la documentation épidémiologique, le cancer du testicule ne semble pas présenter de relation cause à effet avec l'exposition aux rayonnements. Cependant, il existe d'autres facteurs connus qui prédisposent au développement d'un cancer du testicule, comme la cryptorchidie, les antécédents d'orchi[illegible]ourlienne, etc.

Obtenir des estimations de dose pertinentes et classer l'exposition

L'employeur et le Fichier dosimétrique national tiennent des registres des travailleurs. Un individu peut obtenir un exemplaire de son dossier dosimétrique auprès du Fichier dosimétrique national en composant le (613) 954-6660. Une estimation de la dose et de sa distribution probable dans le corps peut donner une idée de la probabilité d'un cancer radio-induit.

DONNER UNE RÉPONSE FINALE

Si l'on dispose d'une estimation de dose et que l'on comprend les préoccupations de l'individu, une réponse finale peut être formulée.

En ce qui concerne le retour au travail, le travailleur peut être avisé qu'un historique de traitement contre le cancer ne l'empêche pas de travailler dans un milieu sous rayonnements, s'il satisfait aux autres conditions requises pour occuper ce poste. Le risque additionnel de maladie liée au rayonnement est faible en comparaison des risques liés au traitement original accompagné de chirurgie, d'irradiation ou de chimio-thérapie. Les doses de rayonnements administrées dans le cadre

d'un traitement médical sont de loin supérieures aux expositions en milieu de travail et peuvent contribuer considérablement au risque de développer un cancer secondaire. Si le travailleur souhaite retourner au travail et qu'il respecte toutes les autres conditions d'embauche, il peut y retourner. Il faut parfois tenir compte du pronostic du cas individuel. Dans le cas d'un cancer des cellules germinales localisé, le taux de guérison est élevé si le patient est traité par chirurgie ou par radiothérapie, ou même lorsque la maladie avancée présente le potentiel d'être guérie.

CAS LIÉ À LA SANTÉ

ÉTUDE DE CAS 2 : Reproduction

Un couple se présente à votre bureau dans une usine de raffinage du combustible et de fabrication. Les deux personnes travaillent dans l'usine. Depuis un an, ils essayent de concevoir un enfant, sans succès. Ils sont tous deux dans la vingtaine et semblent en santé. Leur médecin de famille leur a proposé de vous consulter concernant la possibilité que les rayonnements aient affecté leur fertilité.

Ils se préoccupent également du fait que leur travail sous rayonnements augmente la possibilité qu'ils aient un enfant accablé d'un défaut congénital ou ayant une forme de cancer infantile de quelque sorte. On a également dit à la femme de ne pas allaiter l'enfant, parce que le rayonnement pourrait affecter son lait. Que répondez-vous à tout cela?

Le texte suivra l'algorithme présenté à la Figure 1 et à la Figure 2.

ÉCLAIRCIR ET CONFIRMER LA QUESTION/PRÉOCCUPATION

Prendre le temps de déterminer quelles sont les préoccupations des travailleurs. Même les travailleurs expérimentés qui travaillent avec des radionucléides depuis longtemps peuvent avoir des préoccupations et des craintes auxquelles on ne s'attendrait pas.

Enfin, les travailleurs doivent avoir la certitude qu'ils obtiennent les soins appropriés et l'information pertinente.

DONNER UNE RÉPONSE PROVISOIRE

Indiquez la manière dont vous avez compris les préoccupations et questions qui demanderont une réponse lors du suivi. Donnez un échéancier pour les réponses.

PRÉPARER UNE RÉPONSE FINALE

A-t-on remarqué un effet particulier sur la santé? Oui. La préoccupation immédiate est la fertilité.

Reportez-vous aux cas liés à la santé dans la partie Études de cas du présent guide.
(Vous vous trouvez présentement dans cette partie.)

Existe-t-il déjà des documents accompagnés d'outils de communication pertinents?
Vérifier la partie Questions posées fréquemment. Ces questions peuvent être utilisées lors des séances d'orientation.

Effectuer des recherchces
Voir la partie intitulée Où peut-on obtenir de plus amples renseignements.

Les organes reproducteurs sont sensibles aux rayonnements. On a signalé que des doses aiguës de 0,1 Gy aux testicules rendent des hommes temporairement stériles. La dose nécessaire pour causer une stérilité permanente à la suite d'une irradiation des testicules varie considérablement : les rapports

signalent qu'une dose de 2 Gy suffit, mais la plupart des rapports mentionnent des doses de 5 à 6 Gy. Des changements dans la numération des spermatozoïdes à la suite d'une exposition aiguë apparaissent dans les 30 à 60 jours environ qui suivent l'irradiation. Les testicules diffèrent des autres organes en ce que la même dose reçue sur une plus longue période de temps tend à causer davantage de dommages.

Les ovaires sont beaucoup moins sensibles, à tout le moins chez la femme adulte. Chez une femme adulte de moins de 40 ans, une dose aiguë d'environ 3 à 5 Gy à l'ovaire est requise pour causer une stérilité permanente.

On craint également, si un enfant est conçu, qu'il naisse avec un défaut génétique, une anomalie congénitale, ou qu'il développe un cancer pendant l'enfance. Le foetus est particulièrement sensible aux rayonnements et chacun des effets précité sur la santé est associé à l'exposition au rayonnement.

L'irradiation des cellules germinales des organes reproducteurs a le potentiel de causer une maladie héréditaire chez les descendants. Même si aucun risque accru de dommages génétiques par suite de l'exposition au rayonnement n'a été observé chez l'humain, ce n'est pas le cas chez des animaux. Le risque estimé de maladie héréditaire dans toutes les générations subséquentes est de 0,8 %/Gy. On estime que l'incidence indirecte des défauts héréditaires est de l'ordre de 10 % des naissances vivantes.

Après une irradiation *in utero*, il y a risque de malformation congénitale, selon la dose reçue par le foetus et la période de gestation. Avant l'implantation, l'exposition au rayonnement peut également résulter en une mort prénatale (résorption). La période de la gestation où une malformation congénitale est le plus susceptible de se produire est la période de l'organogénèse. Une tête de petite taille, un retard de croissance et un retard mental semblent être les seuls effets observés et imputables à l'exposition au rayonnement. La tête de petite taille survient surtout lorsque l'exposition s'est produite pendant les semaines 2 à 15 après la conception. Il semble y avoir un seuil pour les effets précités qui se situe aux environs de 100 mGy. Il est utile de noter que l'incidence indirecte des anomalies congénitales est environ 6 % des naissances vivantes.

Une baisse du QI de 3 points par Sv a également été observée dans les cas d'exposition pendant les semaines 8 à 15 et est parfois moindre pendant les semaines 16 à 25 alors que le cerveau continue de se développer considérablement.

L'irradiation *in utero* peut également causer des cancers infantiles (principalement la leucémie). Comme chez l'adulte, la probabilité de développer un cancer augmente avec la dose. Des études sur l'exposition *in utero* ont donné un vaste éventail d'estimations, allant d'un risque élevé à un risque nul. On suppose que le risque est plus élevé que chez les adultes. La fréquence indirecte des décès cancer infantile est d'environ 20/10 000 naissances vivantes [Bo90]. L'âge moyen des enfants atteints de cancers causés par le rayonnement semble être de 3 à 5 ans.

Obtenir des estimations de doses pertinentes et classer l'exposition
L'employeur et le Fichier dosimétrique national tiennent des registres des doses de rayonnement reçues par les travailleurs. Un individu peut obtenir un exemplaire de son dossier dosimétrique auprès du Fichier dosimétrique national en téléphonant au (613) 954-6660. Une estimation de la dose et de sa distribution probable dans le corps peut donner une idée de la probabilité que l'exposition soit la cause d'un problème de santé particulier.

L'historique des doses reçues par chaque travailleur est utile à des fins de comparaisons. Selon la nature du travail, l'exposition totale peut être une exposition externe combinée à des absorptions internes d'uranium. En milieu de travail, on ne reçoit pas habituellement de doses de rayonnement suffisantes pour causer des dommages aux organes reproducteurs. Il faut également tenir compte de l'exposition en milieu de travail à d'autres produits chimiques pouvant affecter la fertilité.

Les doses signalées prendront probablement la forme d'une « dose au corps entier » ou d'une « dose à la peau ». L'« absorption d'uranium » peut être signalée séparément. Si les doses se situent à l'intérieur des limites recommandées, on ne prévoit aucun effet sur la fertilité. Si la personne a des antécédents de surexposition accidentelle, il faudra calculer la dose reçue par l'organe en cause. Il existe des programmes informatiques pour ce faire (voir partie intitulée Lectures et logiciels additionnels), mais on peut demander l'aide d'un spécialiste en radioprotection.

DONNER UNE RÉPONSE FINALE
Si l'on dispose d'une estimation de dose et que l'on comprend les préoccupations de l'individu, une réponse finale peut être formulée.

CAS LIÉ AUX EFFETS SUR LA SANTÉ

ÉTUDE DE CAS 3 : Reproduction

Une étudiante diplômée d'un laboratoire de recherche qui travaillait avec du tritium découvre qu'elle est enceinte. Comme elle était préoccupée par la santé du foetus, elle a demandé conseil à son médecin de famille qui lui a proposé de se faire avorter. Elle n'est pas sûre de ce qu'elle devrait faire et a demandé une autre opinion, soit celle du médecin du travail.

Le texte suivra l'algorithme présenté à la Figure 1 et à la Figure 2.

ÉCLAIRCIR ET CONFIRMER LA QUESTION/PRÉOCCUPATION

Prendre le temps de trouver quelles sont les préoccupations des travailleurs. Même les travailleurs expérimentés qui travaillent avec des radionucléides depuis longtemps peuvent avoir des préoccupations et des craintes auxquelles on ne s'attendrait pas.

Enfin, les travailleurs doivent avoir la certitude qu'ils obtiennent les soins appropriés et l'information pertinente.

En discutant avec l'étudiante, on a déterminé qu'elle attendait avec impatience ce bébé et qu'elle accepte mal le conseil de mettre fin à la grossesse. Elle se préoccupait seulement des risques pour le foetus imputables à son exposition à elle en milieu de travail.

DONNER UNE RÉPONSE PROVISOIRE

Indiquez la manière dont vous avez compris les préoccupations et questions qui demanderont une réponse lors du suivi. Donnez un échéancier pour les réponses.

PRÉPARER UNE RÉPONSE FINALE

A-t-on remarqué un effet particulier sur la santé? La préoccupation particulière concerne la santé du foetus.

Consultez les cas liés aux expositions de la partie Études de cas du présent guide.
(Vous vous trouvez présentement dans cette partie.)

Existe-t-il déjà des documents accompagnés d'outils de communication pertinents?
Vérifier la partie intitulée Questions posées fréquemment. Ces questions pourraient être utiles lors des séances d'orientation.

Effectuer des recherches
Voir la partie intitulée Où peut-on obtenir de plus amples renseignements.

On dispose de beaucoup de renseignements anecdotiques indiquent que les femmes reçoivent des avis contradictoires dans de telles circonstances. Les généticiens et tératologues proposent généralement que l'on prodigue des conseils dans les cas où une dose de 50 mGy au foetus est prévue. Une telle

dose dépasse de beaucoup la limite règlementaire pour les travailleuses enceintes, et probablement aussi son exposition professionnelle réelle.

Les effets *in utero* sont également discutés dans l'étude de cas 2 liée à la santé.

L'exposition de la mère avant la conception au rayonnement ionisant pourrait théoriquement causer l'infertilité, une anormalité chromosomique et une malformation congénitale déterminée génétiquement ou un cancer chez les descendants. Ces effets se produisent de la même manière que des mutations et ne peuvent être démontrés chez l'humain; une des raisons qui expliquent cela est que le taux de mutation spontanée dépasse le taux de mutation induit par le rayonnement.

L'exposition après la conception peut causer des changements transmissibles (causés par une mutation des cellules germinales), des cancers infantiles (causés par une mutation des cellules somatiques) et des effets tératogéniques. Bien qu'on ait observé chez les animaux des preuves de changements héréditaires, on n'en a observé aucun chez l'homme. Les preuves de changements héréditaires chez les animaux comprennent les pertes foetales, une modification de la proportion males-femelles, des malformations congénitales, des cancers chez les descendants, de l'infertilité et des changements protéiniques ou des changements infracliniques de l'ADN. Il subsiste encore une certaine controverse concernant les risques de cancers infantiles imputables à une exposition au rayonnement *in utero*. La preuve qu'il existe un risque accru de leucémie infantile est le plus important [Do97] et régulier, le coefficient de risque étant de 0,06 par Gy. Le risque absolu de leucémie infantile est faible.

Enfin, il semble qu'il existe une courte période au cours de la gestation pendant laquelle les effets tératogéniques imputables au rayonnement se produisent. Au cours des 8 premiers jours, on observe un effet « tout ou rien ». Plus tard, la capacité de l'embryon à remplacer ses cellules mortes dépend de l'organe en cause. Une irradiation durant la période de l'organogénèse (environ dans les jours 18 à 40) pourrait causer une malformation majeure, alors que les effets sur les cellules du cerveau et les cellules germinales peuvent se poursuivre pendant la gestation.

On observe en fait un risque accru de tête de petite taille, de troubles épileptiques et de retards mentaux. Le risque le plus élevé que surviennent les effets de petite taille est associé aux sept premières semaines de gestation. Il n'est pas toujours associé au retard mental. Il existe un risque accru de troubles épileptiques lorsque l'exposition se produit durant les semaines 8 à 15. Le risque de retard mental est probablement le plus important, particulièrement si l'exposition est survenue pendant les semaines 8 à 15, et parfois il est moins important lorsque l'exposition survient pendant les semaines 16 à 25. Le risque de retard mental sévère par gray est de 43 %, comparativement à 0,8 % qui est le risque imputable au rayonnement naturel. On estime que la valeur seuil de cet effet se situe entre 60 et 300 mGy.

Les doses précitées sont des doses à l'utérus qui sont employées comme substituts pour la dose au foetus. Les doses reçues au travail s'expriment habituellement sous forme de dose effective - dans le cas des travailleuses enceintes, la dose au foetus doit être estimée.

Obtenir des estimations de doses pertinentes et classer l'exposition

L'employeur et le Fichier dosimétrique national tiennent des registres des doses de rayonnement reçues par les travailleurs. Un individu peut obtenir un exemplaire de son dossier de dose auprès du Fichier dosimétrique national en téléphonant au (613) 954-6660. Une estimation de la dose et de sa distribution probable dans le corps peut donner une idée de la probabilité que le rayonnement soit la cause d'un problème de santé particulier.

Cette travailleuse a été exposée au tritium, qui est un émetteur de particules bêta de faible énergie, ce qui est important lorsqu'il y a une incorporation interne. Comme l'eau tritiée, le tritium peut être absorbé par une peau intacte. L'inhalation sous forme de vapeur d'eau est plus courante. La majeure partie du tritium est distribuée dans les fluides corporels et sa période biologique est plus longue (elle est d'environ 10 jours). Une certaine partie du tritium est incorporée dans des composés organiques et pour cette raison, la période est plus longue. Il traversera le placenta. L'exposition au tritium lié organiquement est associée à une période biologique plus longue.

L'historique de l'exposition passée du travailleur ou celle des travailleurs qui effectuent des tâches semblables peut être utilisé comme guide pour les effets à prévoir pendant la grossesse - si d'autres arrangements en milieu de travail ne sont pas possibles. L'exposition à des incorporations internes de tritium est surveillée à l'aide de méthodes d'essai biologique. Les travailleuses enceintes font généralement l'objet d'une surveillance plus fréquente que les autres travailleurs parce que le débit de dose est important dans l'embryon et le foetus. La limite d'incorporation est la quantité de radionucléides incorporés pendant une année et qui résultera en une dose engagée égale à la limite de dose pertinente.

DONNER UNE RÉPONSE FINALE

Si l'on dispose d'une estimation de dose et que l'on comprend les préoccupations de l'individu, une réponse finale peut être formulée.

Des effets peuvent se manifester chez le foetus suite à une exposition subie avant ou après la conception. Toutefois, on peut répondre à court terme à ses préoccupations en lui disant que son exposition en milieu de travail résultera en un risque pour le foetus qui est beaucoup plus faible que le risque imputable au rayonnement « naturel ».

CAS LIÉ À LA SANTÉ

ÉTUDE DE CAS 4 : Peau

Un travailleur sous rayonnements vient vous consulter en se plaignant d'une sensation de brûlure légère au visage. Il a également remarqué qu'il a une bosse sur sa joue gauche. Vous l'examinez et constatez que cette bosse ressemble à une verrue. Y a-t-il lieu de s'inquiéter?

Le texte suivra l'algorithme présenté à la Figure 1 et à la Figure 2.

ÉCLAIRCIR ET CONFIRMER LA QUESTION/PRÉOCCUPATION

Prendre le temps de déterminer quelles sont les préoccupations des travailleurs. Même les travailleurs expérimentés qui travaillent avec des radionucléides depuis longtemps peuvent avoir des préoccupations et des craintes auxquelles on ne s'attendrait pas.

Enfin, les travailleurs doivent avoir la certitude qu'ils obtiennent les soins appropriés et l'information pertinente.

DONNER UNE RÉPONSE PROVISOIRE

Indiquez la manière dont vous avez compris les préoccupations et questions qui demanderont une réponse lors du suivi. Donnez un échéancier pour les réponses.

PRÉPARER UNE RÉPONSE FINALE

A-t-on remarqué un effet particulier sur la santé? La préoccupation immédiate pour la santé est la sensation de brûlure qu'a ressentie le travailleur. S'il y a un risque possible de surexposition accidentelle du visage, il faudra commencer une enquête de manière à pouvoir estimer la dose.

Consultez les cas liés aux expositions de la partie Études de cas du présent guide.
(Vous vous trouvez présentement dans cette partie.)

Existe-t-il déjà des documents accompagnés d'outils de communication pertinents?
Vérifier la partie Questions posées fréquemment. Ces questions peuvent être utilisées lors des séances d'orientation.

Effectuer des recherches
Voir la partie intitulée Où peut-on obtenir de plus amples renseignements.

Un contact accidentel avec une source scellée ou une exposition à un faisceau de rayonnements pénétrants pourrait causer des blessures graves. Si une estimation n'est pas possible, on peut se fier aux signes cliniques et aux symptômes pour estimer la dose à la peau. Voir la partie intitulée Expositions locales aux rayonnements. L'estimation de dose aide le médecin traitant à planifier le traitement. Si la zone de peau suspectée d'avoir été irradiée se trouve près de l'oeil, il peut être prudent de procéder à un suivi ophtalmologique.

Si le patient se plaint d'une sensation d'irritation superficielle, de sensibilité au toucher ou de démangeaison, il peut s'agir de signes précurseurs à une brûlure par irradiation. Il faudrait envisager d'autres causes de ces symptômes, comme les réactions au savon ou au détergent, d'autres problèmes de peau ou les coups de soleil. La séquence des symptômes des brûlures par irradiation varie beaucoup. Si des doses importantes ont été reçues, on peut observer initialement érythème, oedème, formation de cloques et perte de tissus. Lorsque les doses reçues sont moins élevées, il peut n'y avoir aucun signe ni aucune plainte jusqu'à ce qu'un érythème se manifeste une semaine plus tard. Celle-ci peut dégénérer en ulcération, fibrose et perte de tissus. Ou encore, l'érythème peut disparaître dans les 4 à 8 semaines qui suivent et ne laisser qu'une hyperpigmentation résiduelle.

Les blessures de type I sont de l'érythème et ne progressent pas. Les blessures de type II guérissent généralement, mais la peau demeure pigmentée, mince et s'abîme facilement (D_{50} = 6 Gy). Les blessures de type III sont associées à une endartérite oblitérante graduelle accompagnée d'une fibrose résultante, de l'atrophie et de la mort des tissus (radionécrose cutanée D_{50} = 20 Gy). Les rayonnements pénétrants peuvent endommager les structures des tissus hypodermiques et causer une progression des symptômes pendant de nombreux mois. À des niveaux supérieurs à 50 gray, la formation de cloques et la perte cutanée se produiront presque aussitôt après l'accident, selon l'énergie des rayonnements. Dans ces cas, non seulement les tissus hypodermiques sont endommagés, mais les structures internes (os, muscles) peuvent être touchées également. Il peut être nécessaire d'hospitaliser la victime pour traiter les brûlures par irradiation.

Des effets tardifs peuvent se manifester; ce sont ceux qui résultent de l'atrophie progressive des tissus, de la fibrose et d'une radiodermite chronique.

L'exposition chronique au rayonnement produit un vieillissement prématuré de la peau. La peau chroniquement irradiée peut être traitée comme un état précancéreux et toute kératose ou ulcération doit être excisée. On observe souvent la formation d'un carcinome spino-cellulaire. Le cancer de la peau induit par le rayonnement n'a pas été observé en l'absence de radiodermite.

Obtenir des estimations de doses pertinentes et classer l'exposition

L'employeur et le Fichier dosimétrique national tiennent des registres des doses de rayonnement reçues par les travailleurs. Un individu peut obtenir un exemplaire de son dossier de dose auprès du Fichier dosimétrique national en téléphonant au (613) 954-6660. Une estimation de la dose et de sa distribution probable dans le corps peut donner une idée de la probabilité que le rayonnement soit la cause d'un problème de santé particulier.

Dans le cas qui nous occupe, si une exposition accidentelle s'est produite au visage, le rayonnement n'aurait pas été détecté par le dosimètre qui est habituellement porté sur le tronc. Par conséquent, le dossier de dose ne sera peut-être pas utile et il faudra reconstituer l'accident et déterminer ainsi la dose reçue.

DONNER UNE RÉPONSE FINALE

Si l'on dispose d'une estimation de dose et que l'on comprend les préoccupations de l'individu, une réponse finale peut être formulée.

CAS LIÉ À LA SANTÉ

ÉTUDE DE CAS 5 : Yeux

Une technicienne de médecine nucléaire âgée de 60 ans vous consulte. On a diagnostiqué chez elle une cataracte et elle doit être opérée. Elle croit qu'une interruption de son travail pourrait être indemnisable par la Commission des accidents du travail en raison du type de travail qu'elle occupe. Qu'avez-vous à dire à ce propos?

Le texte suivra l'algorithme présenté à la Figure 1 et à la Figure 2.

ÉCLAIRCIR ET CONFIRMER LA QUESTION/PRÉOCCUPATION

Prendre le temps de trouver quelles sont les préoccupations des travailleurs. Même les travailleurs expérimentés qui travaillent avec des radionucléides depuis longtemps peuvent avoir des préoccupations et des craintes auxquelles on ne s'attendrait pas.

Enfin, les travailleurs doivent avoir la certitude qu'ils obtiennent les soins appropriés et l'information pertinente.

DONNER UNE RÉPONSE PROVISOIRE

Indiquez la manière dont vous avez compris les préoccupations et questions qui demanderont une réponse lors du suivi. Donnez un échéancier pour les réponses.

PRÉPARER UNE RÉPONSE FINALE

A-t-on remarqué un effet particulier sur la santé? Une cataracte a été identifiée.

Consultez les cas liés à la santé de la partie Études de cas du présent guide.
(Vous vous trouvez présentement dans cette partie.)

Existe-t-il déjà des documents accompagnés d'outils de communication pertinents?
Vérifier la partie intitulée Questions posées fréquemment. Ces questions pourraient être utiles lors des séances d'orientation.

Effectuer des recherches
Voir la partie intitulée Où peut-on obtenir de plus amples renseignements.

Le cristallin de l'oeil est sensible au rayonnement. Une exposition aiguë ou chronique du cristallin de l'oeil peut causer une cataracte. Contrairement à la plupart des autres cataractes, la lésion initiale dans une cataracte induite par le rayonnement débute dans la partie sous-capsulaire postérieure du cristallin. Par la suite, lorsque l'opacité progresse vers la partie antérieure du cortex, on ne peut plus la distinguer d'une cataracte imputable à d'autres causes. Il semble y avoir un seuil pour le développement des cataractes. À la suite d'une dose aiguë d'environ 2 Gy au cristallin, on observe parfois une période de latence d'environ 12 ans avant que la cataracte se manifeste. Plus la dose est élevée, plus la perte de vision est importante. Des cataractes évolutives graves se produisent après avoir reçu une dose de 5 Gy. L'exposition chronique à des doses de 0,5 à 2 Gy sur une période de 10 à 20 ans augmente la densité et l'opacité du cristallin.

Obtenir des estimations de doses pertinentes et classer l'exposition
L'employeur et le Fichier dosimétrique national tiennent des registres des doses de rayonnement reçues par les travailleurs. Un individu peut obtenir un exemplaire de son dossier de dose auprès du Fichier dosimétrique national en téléphonant au (613) 954-6660. Une estimation de la dose et de sa distribution probable dans le corps peut donner une idée de la probabilité que le rayonnement soit la cause d'un problème de santé particulier.

DONNER UNE RÉPONSE FINALE
Si l'on dispose d'une estimation de dose et que l'on comprend les préoccupations de l'individu, une réponse finale peut être formulée.

Il est peu probable que le cristallin de l'oeil d'un technicien de médecine nucléaire ait été exposé de façon si importante.

CAS LIÉ À LA SANTÉ

ÉTUDE DE CAS 6 : Symptômes généralisés

Un homme de 45 ans qui travaille dans une centrale nucléaire vient vous consulter. Il a remarqué récemment que ses cheveux s'amincissent, qu'il a de la difficulté à contrôler son poids et qu'il se désintéresse du sexe. Il ressent une fatigue générale. Il croit que son état peut être attribuable au rayonnement et il veut obtenir un transfert médical pour occuper un autre type d'emploi, peut-être un emploi de bureau. Que lui dites-vous?

Le texte suivra l'algorithme présenté à la Figure 1 et à la Figure 2.

ÉCLAIRCIR ET CONFIRMER LA QUESTION/PRÉOCCUPATION

Prendre le temps de déterminer quelles sont les préoccupations des travailleurs. Même les travailleurs expérimentés qui travaillent avec des radionucléides depuis longtemps peuvent avoir des préoccupations et des craintes auxquelles on ne s'attendrait pas.

Enfin, les travailleurs doivent avoir la certitude qu'ils obtiennent les soins appropriés et l'information pertinente.

DONNER UNE RÉPONSE PROVISOIRE

Indiquez la manière dont vous avez compris les préoccupations et questions qui demanderont une réponse lors du suivi. Donnez un échéancier pour les réponses.

PRÉPARER UNE RÉPONSE FINALE

A-t-on remarqué un effet particulier sur la santé? Ces symptômes très généraux ont été identifiés par le travailleur. De telles plaintes peuvent être associées à un vaste éventail d'états pathologiques, y compris la dépression.

Consultez les cas liés aux expositions de la partie Études de cas du présent guide.
(Vous vous trouvez présentement dans cette partie.)

Existe-t-il déjà des documents accompagnés d'outils de communication pertinents?
Vérifier la partie intitulée Questions posées fréquemment. Ces questions pourraient être utiles lors des séances d'orientation.

Effectuer des recherches
Voir la partie intitulée Où peut-on obtenir de plus amples renseignements.

Si la fiche dosimérique de cet homme confirme qu'il a été exposé à de faibles niveaux de rayonnement, on devra lui expliquer pourquoi les symptômes qu'il présente ne sont pas directement liés au rayonnement (à moins qu'il ait un cancer induit par le rayonnement). La perte des cheveux peut se produire lorsque l'on reçoit des doses de rayonnement élevées à la peau de l'ordre de 3 à 10 Gy. De même, la fatigue est associée à des expositions aiguës importantes au rayonnement.

Obtenir des estimations de dose pertinentes et classer l'exposition
L'employeur et le Fichier dosimétrique national tiennent des registres des travailleurs. Un individu peut obtenir un exemplaire de son dossier de dose auprès du Fichier dosimétrique national en composant le (613) 954-6660. Une estimation de la dose et de sa distribution probable dans le corps peut donner une idée de la probabilité d'un cancer radio-induit.

DONNER UNE RÉPONSE FINALE
Si l'on dispose d'une estimation de dose et que l'on comprend les préoccupations de l'individu, une réponse finale peut être formulée.

OÙ PEUT-ON OBTENIR DE PLUS AMPLES RENSEIGNEMENTS

...sur le rayonnement, la radioactivité et les radionucléides

...sur les lieux de travail où on peut trouver des radionucléides

...sur des radionucléides particuliers

...sur les sources d'information locales, nationales et internationales

...sur les ressources techniques disponibles

...sur les endroits où obtenir de la formation

...sur les lectures ou les logiciels additionnels

... sur d'autres sites web utiles

... sur le traitement de la contamination interne par des radionucléides

RADIONUCLÉIDES, RADIOACTIVITÉ ET RAYONNEMENT

Notions fondamentales
Types de rayonnement :
- Alpha
- Bêta
- Rayons gamma (photons)
- Rayons X
- Neutrons

Unités de dose
Effets biologiques
Syndrome d'irradiation aiguë
Expositions localisés aux rayonnements
Estimation des risques

NOTIONS FONDAMENTALES

L'atome est la plus petite quantité d'un élément qui possède les propriétés chimiques et physiques de l'élément en question. La plupart des atomes peuvent être caractérisés par le nom de l'élément et par le nombre de masse. On appelle nucléides les atomes ainsi caractérisés. Les composantes fondamentales des atomes sont les protons, les neutrons et les électrons. C'est le nombre de protons qui détermine les propriétés chimiques de l'élément.

Le terme **isotope** désigne deux ou plusieurs espèces d'atomes propres à un élément, qui sont de même numéro atomique (possédant le même nombre de protons), mais de masse atomique différente (possédant un nombre différent de neutrons). Les isotopes d'un élément ont tous les mêmes propriétés chimiques.

La majeure partie de la masse atomique est constituée de neutrons et de protons (chargés positivement) qui forment un petit noyau. Les électrons, chargés négativement, qui équilibrent la charge des protons, gravitent autour du noyau en décrivant un cercle dont le diamètre est environ 100 000 fois plus grand que celui de l'atome. Cette représentation de l'atome comme étant un espace essentiellement vide est importante pour comprendre les interactions avec le rayonnement.

Certains nucléides sont stables, mais beaucoup ne le sont pas. La stabilité du noyau est déterminée par le nombre de protons et de neutrons, leur configuration et les forces qu'ils exercent les uns sur les autres. Ces nucléides instables, ou **radionucléides**, ont tendance à se réorganiser spontanément en une configuration plus stable en émettant des particules subatomiques ou des photons de haute énergie (rayons gamma, ondes électromagnétiques). L'atome original s'appelle atome parent et l'atome transformé est un nucléide d'un élément plus léger, appelé **produit de filiation, produit de désintégration** ou **produit de décroissance**. Le processus d'émission de particules ou d'ondes énergétiques s'appelle **radioactivité**. Le processus de transformation porte le nom de **désintégration radioactive**.

Lorsqu'un radionucléide subit plusieurs transformations avant de devenir un nucléide stable, la voie qu'il suit est connue sous le nom de **chaîne ou séquence de désintégration**. Chaque transformation unique, ou **désintégration**, est associée à une quantité distincte d'énergie émise. En raison de la nature spontanée des transformations, un radionucléide peut suivre plus d'un chemin. Par conséquent, sa désintégration peut être associée à l'émission de plus d'un type de particules ou à des émissions d'énergies différentes. L'énergie associée à la désintégration radioactive d'un radionucléide particulier peut s'exprimer en termes d'**énergie minimale, maximale et moyenne.** Cette information est importante sur le plan clinique en raison du type de particules, et son énergie déterminera à quelle distance se propagera le rayonnement dans l'air et à quelle profondeur il pénétrera dans les tissus.

Tous les radionucléides se désintègrent à une vitesse particulière, selon leur instabilité. L'intensité, ou l'**activité** d'une source radioactive est une mesure de son taux de désintégration. Ce taux peut également s'exprimer en temps requis pour que l'activité d'une quantité de radionucléides perde la moitié de sa valeur par désintégration; c'est la **période physique**.

La **radiation** est le processus par lequel l'énergie est émise par un corps ou par une source, puis propagée à travers un milieu ou un espace intermédiaire et absorbée par un autre corps. Si l'énergie

transférée à un atome du matériau qui l'absorbe est rejetée par l'atome, une paire d'ions est produite en vertu d'un processus appelé **ionisation**. La quantité d'énergie présente est mesurée en électronvolts. Parmi les exemples de rayonnements ionisants, mentionnons les rayons X, les rayons gamma, le rayonnement alpha, le rayonnement bêta et les neutrons.

Si le milieu est une cellule vivante, l'ionisation peut causer des dommages biologiques imputables à la cassure des liaisons chimiques. Par exemple, l'ionisation peut endommager directement l'ADN ou provoquer la rupture des brins simples ou doubles. Ou encore, elle peut causer des dommages indirects en produisant de l'oxygène et de l'hydroxyle hautement réactifs (radicaux libres) dans l'eau de la cellule, qui à leur tour pourraient rompre l'ADN.

TYPES DE RAYONNEMENTS

Rayonnement alpha

Les particules alpha sont des particules chargées positivement qui se déplacent relativement lentement (noyau d'hélium) et qui sont éjectées du noyau lourd de certains radionucléides comme l'uranium 238. Il existe plusieurs radionucléides naturels qui émettent des particules alpha. Leur énergie se situe habituellement dans l'intervalle de 4 à 8 MeV(méga-électronvolts). Les particules laissent derrière elles une traînée dense d'ionisations à mesure qu'elles pénètrent dans des matériaux. Cette caractéristique est importante car des erreurs dans la réparation cellulaire sont plus susceptibles de se produire lorsque les sites endommagés sont rapprochés les uns des autres (p. ex. rupture double des brins d'ADN). Cependant, en raison de leur masse importante, il n'ont aucun pouvoir de pénétration et peuvent être arrêtés par une feuille de papier ou par la couche externe de la peau qui est formée de cellules mortes. Leur portée dans l'air est de quelques centimètres et elles peuvent pénétrer à une profondeur d'environ 50 µm dans les tissus. Ainsi, le rayonnement alpha ne présente de risques que lorsque les substances qui l'émettent sont incorporées (contamination interne). Cette incorporation se fait par inhalation, ingestion ou absorption par le biais de blessures à la peau.

Rayonnement bêta

Les particules bêta sont de petites particules chargées (électrons), qui se déplacent relativement vite et qui produisent moins d'ionisations que les particules alpha. Elles sont éjectées du noyau de nombreux radionucléides, comme le tritium (même s'il n'y a pas d'électrons en tant que tel dans le noyau, un neutron peut se transformer en proton et en électron). La plage énergétique type est de 0 à 3 MeV. Les particules bêta ont une portée de plusieurs mètres dans l'air mais ne pénètrent habituellement que de quelques millimètres dans la peau et peuvent être arrêtées par des gants de plastique. Leur profondeur de pénétration dans la peau dépend de leur énergie (jusqu'à un centimètre ou plus pour une particule bêta hautement énergétique), qui est une caractéristique du radionucléide émetteur. Le rayonnement bêta peut être dangereux pour les tissus superficiels, comme la peau ou le cristallin de l'oeil en cas d'irradiation externe ou de contamination externe. Il n'est dangereux pour les tissus internes que lorsque des radionucléides qui émettent des particules bêta sont ingérées ou inhalées (contamination interne).

Rayons gamma (photons)

Les rayons gamma, ou photons, sont des paquets d'énergie sans masse ni charge. Les rayons gamma accompagnent souvent l'émission de particules alpha ou bêta du noyau. Ils appartiennent au spectre électromagnétique et se déplacent à la vitesse de la lumière. La plage énergétique type se situe entre 0 et 3 MeV. Même s'ils produisent moins d'ionisations que les particules alpha ou bêta, leur pouvoir de pénétration est plus grand. Le plomb, le béton ou l'eau peuvent constituer un blindage. Les rayons gamma ont une portée de plusieurs mètres dans l'air et de plusieurs centimètres dans les tissus; ils peuvent traverser le corps. Le rayonnement gamma est donc dangereux à la fois sous forme de contamination externe et interne. L'énergie des rayons gamma dépend du radionucléide émetteur et on peut la déterminer à l'aide d'un spectromètre gamma.

Rayons X

Les rayons X sont également des quantités distinctes d'énergie électromagnétique sans masse ni charge. Cependant, les rayons X sont générés par un processus qui survient à l'extérieur du noyau de l'atome. Les rayons X ont une énergie généralement moins élevée que celle des rayons gamma et, par conséquent, leur pouvoir de pénétration est parfois moindre. Les rayons X peuvent être obtenus en bombardant une cible métallique dans le vide au moyen d'électrons à haute énergie qui, à leur tour, réagissent avec les électrons qui gravitent autour du noyau. L'énergie résultante des photons varie directement en fonction de la tension appliquée.

Neutrons

Les neutrons sont rarement abondants, sauf les neutrons de sources artificielles comme les réacteurs nucléaires. Ils sont émis par le noyau pendant la fission de sources neutroniques comme l'américium/le béryllium, ou par suite de l'accélération de particules. Comme ils sont rapidement absorbés par le noyau des atomes environnants, on les trouve seulement près de sources qui peuvent créer des réactions nucléaires, et seulement lorsqu'elles sont en fonctionnement. Les neutrons sont des particules lourdes (masse atomique de 1) sans charge et leur plage d'énergie type se situe entre 0 et 5 MeV. Ils produisent une traînée d'ionisations plutôt dense, mais beaucoup moins dense que celle produite par le rayonnement alpha. Lorsque certaines matières sont irradiées par des neutrons, elles deviennent radioactives - ce qui ne se produit pas avec d'autres types de rayonnements.

Une seule particule ou un photon énergétique peut interagir avec des tissus à plusieurs reprises, causant un grand nombre d'ionisations avant de perdre son énergie excédentaire. Lorsque le rayonnement ionisant traverse un milieu, il laisse dans son sillage des charges électriques. La voie qu'il suit porte le nom de trajectoire. Plus la trajectoire est longue dans le tissu, plus le degré de pénétration dans celui-ci est grand. La quantité d'énergie perdue par longueur de trajectoire s'appelle **transfert linéique d'énergie (TLE)**. Le pouvoir de pénétration du rayonnement ionisant est lié à la masse et à la charge de la particule, ainsi qu'à l'énergie cinétique. Plus la masse et la charge électrique que possède une particule sont grandes, plus le nombre d'ionisations par unité de longueur de trajectoire est grand (TLE plus élevé) et plus la particule s'arrête rapidement (elle pénètre à une moins grande distance).

Les particules alpha sont par ailleurs relativement grosses et peuvent rarement pénétrer dans la couche protectrice extérieure de la peau; par conséquent, les radionucléides qui émettent des particules alpha ne présentent que peu de risques, à moins d'être incorporés. Les particules bêta sont plus petites et peuvent pénétrer à une profondeur d'un centimètre ou à peu près dans les tissus; par conséquent, ils présentent des risques externes pour les tissus superficiels ainsi que des risques internes. Les rayons gamma, les rayons X et les neutrons pénètrent en profondeur et, pour cette raison, présentent des risques même à une certaine distance de la source.

UNITÉS DE DOSE

Comme nous l'avons déjà indiqué, l'activité ou la radioactivité est une mesure dénotant la présence de matière radioactive dans un échantillon : c'est le nombre d'atomes qui subissent une désintégration radioactive par seconde. Le **becquerel (Bq)** correspond à une désintégration par seconde. Le becquerel est une unité internationale. L'unité classique est le curie (Ci) et le facteur de conversion est 1 Ci = $3,7 \times 10^{-10}$ Bq.

L'**exposition** est la mesure du niveau de rayonnement auquel une personne peut être exposée. L'unité principale est le **roentgen (R)**. Elle décrit la quantité d'ionisations par unité de masse dans l'air (qui diffère pour les tissus plus denses). Ce terme n'est pas facile à convertir en dose et n'est pas souvent utilisé.

On dispose d'une unité particulière pour l'exposition par inhalation aux produits de filiation du radon dans l'air, soit l'**unité alpha-mois**. Cette unité est l'équivalent d'une exposition de 170 heures à 1 unité alpha, qui est la concentration des produits de filiation du radon à l'équilibre ayant une activité de 3 700 Bq par mètre cube de radon gazeux.

Lorsque le rayonnement ionisant traverse un tissu vivant, une partie de l'énergie se dépose dans la matière par suite des interactions électriques (ionisations). Cette charge électrique donne lieu à des changements chimiques dans les cellules qui peuvent causer des dommages biologiques. La mesure du transfert d'énergie entre le rayonnement et le tissu est la **dose absorbée**. On la définit comme étant la quantité d'énergie déposée par le rayonnement dans les tissus et organes du corps. L'unité employée pour exprimer la dose absorbée est le **gray (Gy)**; un gray correspond à un joule par kilogramme. Une unité plus ancienne pour exprimer la dose absorbée est encore utilisée couramment - il s'agit du rad (1 Gy = 100 rad).

Certains types de rayonnement peuvent causer plus de dommages que d'autres. La même dose absorbée de rayonnement alpha, par exemple, cause vingt fois plus de dommage que le rayonnement gamma en raison de la densité des charges éléctriques le long de sa trajectoire (tableau 1). Pour mettre tous les rayonnements ionisants sur le même pied en ce qui a trait à leur capacité de causer des dommages, la dose absorbée est multipliée par un facteur de pondération pour obtenir la **dose équivalente**. L'unité employée pour exprimer la dose équivalente est le **sievert (Sv)**; il équivaut également à un joule par kilogramme. La dose équivalente donne un indice du préjudice causé par l'exposition à un type de rayonnement. Une dose équivalente de 1 Sv délivrée aux poumons par les rayonnements alpha cause le même préjudice que 1 Sv de rayonnement gamma sur cet organe. Le sievert est en fait une très grande unité et, dans la pratique, on utilise des millisieverts (mSv). Une unité plus ancienne pour la dose équivalente qui est toujours utilisée couramment est le rem (1 Sv = 100 rem).

Tableau 1 : Facteurs de pondération des rayonnements[1] recommandés par la Commission internationale de protection radiologique [IC91]

Type et plage d'énergie	Facteur de pondération du rayonnement
Photons, toutes énergies	1
Électrons	1
Neutrons, énergie < 10 keV	5
de 10 keV à 100 keV	10
> 100 keV à 2 MeV	20
> 2 MeV à 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Particules alpha, fragments de fission, noyaux lourds	20

[1] Toutes les valeurs se rapportent au rayonnement ayant une incidence sur le corps ou, pour les sources internes, émises à partir de la source.

L'importance des dommages causés par le rayonnement et leur nature varient d'un tissu à l'autre. Par exemple, une dose de 1 Sv aux poumons cause un préjudice de type et de degré différent du préjudice causé par une dose de 1 Sv à la thyroïde. Pour égaliser les effets nocifs d'une même dose équivalente, des facteurs de pondération des tissus sont attribués à différentes parties du corps (tableau 2). Ces facteurs tiennent compte de la probabilité de développer un cancer, du pronostic, des années à retrancher de l'espérance de vie et de la probabilité de développer un défaut génétique.

Tableau 2 : Facteurs de pondération des tissus recommandés par la Commission internationale de protection radiologique [IC91]

Tissu ou organe	Facteur de pondération pour les tissus
Gonade	0,20
Moelle osseuse (rouge)	0,12
Colon	0,12
Poumons	0,12
Estomac	0,12
Vessie	0,05
Sein	0,05
Foie	0,05
Oesophage	0,05
Thyroïde	0,05
Peau	0,01
Surface de l'os	0,01
Autres	0,05*

* Comprend les glandes surrénales, le cerveau, la partie supérieure du gros intestin, l'intestin grêle, les reins, les muscles, la rate, le thymus et l'utérus.

Lorsque les doses équivalentes dans tous les tissus sont multipliées par les facteurs de pondération des tissus et additionnées, le résultat est la **dose effective.** L'unité de la dose effective porte également le nom de sievert. Par conséquent, une dose effective de 1 Sv sous forme de rayonnement alpha aux poumons cause les mêmes dommages qu'une dose de 1 Sv sous forme de rayons gamma au corps entier. Cette notion est utile lorsqu'on tente de déterminer l'ampleur totale des dommages qui résultent de différentes expositions au rayonnement.

À moins d'indication contraire, le terme « dose » employé dans le présent texte désigne la « dose effective ».

Une autre notion importante est la **dose effective engagée.** Les radionucléides incorporés par inhalation, ingestion, ou absorption dans la peau peuvent se loger dans certains tissus et organes pendant des périodes prolongées. Par conséquent, la dose résultante aux organes internes peut se déposer sur une période de plusieurs jours ou années. La dose effective engagée est la dose totale reçue en provenance d'une substance radioactive dans le corps pendant le reste de la vie d'un individu, soit 50 ans pour un adulte. La dose engagée provenant de sources internes est incluse dans tout calcul de la dose effective.

Par conséquent, la dose effective est un bon indicateur de risque pour la santé humaine imputable à tout type de rayonnement et à toute distribution de dose dans le corps, qu'elle soit reçue intérieurement ou extérieurement.

EFFETS BIOLOGIQUES

Des doses élevées de rayonnement qui sont délivées à des débits de dose élevés (exposition aiguë) peuvent causer une grande variété d'effets précoces comme la mort des cellules, le dysfonctionnement des organes et la mort (tableau 3). Parmi ces effets, mentionnons notamment les brûlures par irradiation et le syndrome d'irradiation aiguë, caractérisé par des nausées, de la fatigue, des vomissements, une baisse des globules sanguins, de la diarrhée, la stérilité temporaire et possiblement la mort. Ces effets, appelés **effets déterministes,** sont associés à une dose seuil en deçà de laquelle aucun effet n'est ressenti. La gravité de ces effets est liée à la quantité de rayonnements reçue [UN88].

La plupart des organes peuvent réparer dans une certaine mesure les dommages imputables aux rayonnements et tolèrent mieux une série de doses moins élevées qu'une dose unique élevée équivalente à toutes les doses additionnées. Certains états pathologiques, comme la radio-dermite, les cataractes polaires postérieures, l'infertilité (la diminution de la numération des spermatozoïdes peut subsister pendant des années après que l'exposition a cessé) et le dysfonctionnement de la thyroïde ne se produisent généralement qu'après avoir reçu une dose aiguë importante. Pour que les mêmes effets se produisent à la suite d'une exposition chronique, il faut que cette exposition ait été de beaucoup supérieure. L'exception dans ce cas concerne les testicules. Cependant, des expositions de cette importance ne se produisent généralement pas en milieu de travail. Parfois, des effets tardifs comme des cataractes et des dommages chroniques à la peau surviennent, mais cela est rare.

Dans le cas de faibles doses de radiations et de faibles débits de dose (moins de 200 mSv et moins de 0,5 mSv par minute), comme ceux que l'on pourrait rencontrer dans les milieux de travail, des effets **stochastiques** sont plus probables que des effets « déterministes ». Ces effets sont probabilistes ou aléatoires - c'est la probabilité que l'on subisse ces effets qui est liée à la quantité de rayonnement reçue. Des exemples de tels effets sont le cancer et les dommages génétiques. Lorsque des cellules sont exposées à de faibles niveaux de rayonnement, des molécules biologiquement importantes, comme l'ADN, peuvent être endommagées directement, ou indirectement par la production de radicaux libres dans le cytoplasme. Si les dommages cellulaires ne sont pas réparés adéquatement, ils peuvent donner lieu à des cellules modifiées qui se transforment en cancer après une période prolongée et variable. Les dommages causés aux spermatozoïdes ou aux ovules peuvent causer des effets qui s'expriment chez les descendants. Il n'existe pas de seuil établi pour ces effets et l'on suppose qu'il y a un risque de développer un effet stochastique causé par les rayonnements et imputable à la dose, peu importe sa grandeur.

Malheureusement, il est impossible de distinguer ces effets causés par les rayonnements des autres effets imputables à d'autres causes. En outre, en attribuant les effets différés aux rayonnements, il faut tenir compte des incertitudes liées aux mesures de l'exposition, des longues périodes de latence et de certains facteurs pouvant semer la confusion sur la détermination des causes comme le fait de fumer, l'exposition à d'autres substances cancérigènes, les effets héréditaires, etc.

Certains organes sont plus susceptibles que d'autres de développer un cancer induit par le rayonnement (à l'exception de la leucémie lymphocytique chronique). Ce sont la moelle osseuse, la thyroïde, le sein, les poumons et les os [Me90].

Tableau 3 : Exemples choisis de dommages radiobiologiques aux cellules des mammifères [Vo94]

Niveau des dommages	Effets importants
Moléculaire	Endommage les macromolécules, y compris l'ADN, l'ARN et les enzymes; interfère avec les voies métaboliques
Infracellulaire	Endommage les membranes des cellules, les mitochondries, les lysomes, les noyaux et les chromosomes
Cellulaire	Inhibe la division cellulaire, tue les cellules; cause la carcinogenèse
Organe	Abîme la moelle osseuse, le tractus intestinal, le système cardiovasculaire et le système nerveux central et, dans le cas des expositions graves, on observe d'autres effets allant de changements peu importants à la mort subite
Corps entier	Mort, cancer
Populations	Mutations génétiques et chromosomiques chez les individus qui peuvent modifier les caractéristiques des descendants

Ces effets biologiques sont assujettis à un certain nombre de facteurs [Vo94] :

débit de dose — les processus biologiques de réparation du corps ont une plus grande probabilité de succès si la dose de rayonnement est délivrée dans le corps sur une plus longue période de temps (débit de dose plus faible)

fractionnement de la dose — à titre de comparaison, une dose totale fractionnée en petites doses sur des périodes distinctes cause moins de dommages biologiques que la même dose reçue en une seule fois

sensibilité des tissus — les tissus constitués de cellules qui se divisent rapidement sont beaucoup plus sensibles au rayonnement que les tissus composés de cellules qui se divisent lentement (p. ex. cellules reproductrices, cellules de la moelle osseuse et cellules épithéliales)

âge — à titre de comparaison, le foetus est beaucoup plus susceptible qu'un jeune enfant, qui à son tour est plus susceptible qu'un adulte

distribution de la dose — une personne survit mieux à des doses élevées reçues à des parties limitées du corps (qui préservent une partie de la moelle osseuse) qu'à une dose uniforme au corps entier

variations

individuelles	elles peuvent être de deux à plusieurs fois supérieures à une dose particulière
facteurs chimiques	la présence de certains facteurs chimiques au moment de l'irradiation peut accroître ou réduire l'effet biologique. Les sensibilisants connus comprennent l'oxygène et la pyrimidine halogénée et les agents de protection qui comprennent divers composés renfermant du soufre.

Tableau 4 : Exemples d'effets temporaires [UN88, Me90]

Effet temporaire	**Seuil** (expositions aiguës de 24 à 48 heures)
stérilité chez l'homme	au-dessus de 0,1 Gy; la durée dépend de la dose
vomissements ou haut-le-coeur accompagnés d'un sentiment de fatigue faible à modéré	environ 0,3 Gy; 50 % d'incidence à environ 2 Gy; la gravité augmente avec la dose
diminution de la numération des lymphocytes et d'autres leucocytes	0,5 à 1,0 Gy pour des effets mesurables; effets graves au-dessus de 2 Gy
érythème du tissues conjonctif de l'oeil	environ 2 Gy
érythème de la peau accompagné de changements de la perméabilité vasculaire	environ 3 Gy pour l'exposition de toute la peau; environ 6 Gy pour l'exposition de petites zones de la peau
perte de cheveux	3 à 5 Gy

Tableau 5 : Exemples d'effets permanents [UN88, Me90]

Effet permanent	**Seuil** (expositions aiguës de 24 à 48 heures)
cataractes de l'oeil	cataractes minimales stationnaires à 1 ou 2 Gy; cataractes progressives plus graves au-dessus de 5 Gy
stérilité permanente chez l'homme	au-dessus de 5 Gy, dose unique
stérilité permanente chez la femme	au-dessus de 3 Gy
dommages à la moelle osseuse	environ 3 à 5 Gy; nécrose de 50 % de la moelle en un à deux mois
dommages aux vaisseaux sanguins	au-dessus de 5 Gy
insuffisance de la fonction pulmonaire, pneumonite	au-dessus de 5 Gy
insuffisance de la thyroïde, du foie et des reins	au-dessus de 10 Gy
mort gastro-intestinale	au-dessus de 5 Gy; mort en une à deux semaines
desquamation accompagnée d'une cicatrisation possible	au-dessus de 10 Gy
mort du système nerveux central	au-dessus de 50 Gy; mort en 72 heures

SYNDROME D'IRRADIATION AIGUË

L'exposition du corps entier à une forte dose de rayonnement, supérieure à 1 Gy (100 rad) lors d'une exposition unique, ou dans la journée ou les deux jours qui suivent l'exposition, donne lieu à une série de signes progressifs et de symptômes connus sous le nom de **syndrome d'irradiation aiguë**. La survie du patient est menacée si la dose est de 2 Gy ou plus, la LD_{50} estimée étant d'environ 3,5 gray 60 jours après avoir reçu une dose uniforme au corps entier; la LD_{50} augmente jusqu'à environ 4 ou 5 Gy avec le traitement correctif approprié à un hôpital spécialisé. Le syndrome se développe d'une manière temporelle caractéristique après une exposition à un rayonnement ionisant pénétrant externe de courte durée et donnant lieu à une dose élevée. Selon l'importance de l'exposition, le système hématopoïétique, le tractus intestinal et le système nerveux central peuvent subir des dommages selon un ordre croissant de gravité. Le tableau 6 résume les principaux effets cliniques liés à des doses aiguës au corps entier de grandeur variable.

Les symptômes initiaux ou prodromiques se manifestent environ de 1 à 6 heures après une exposition aiguë importante. Les symptômes les plus courants après une exposition du corps entier sont : l'anorexie, lorsque la dose est de 0,2 Gy; les nausées, lorsqu'elle est de 0,75 Gy; les vomissements, lorsqu'elle est de 1 Gy; et la diarrhée, lorsqu'elle est de 1,5 Gy. La présence ou l'absence de nausées et de vomissements dans les trois heures qui suivent l'exposition tendent à séparer la dose en doses élevées (possiblement fatales) et en doses faibles (probablement non fatales). En quelques heures ou quelques jours, si le sujet n'a pas reçu une dose supralétale, on observe une période latente relativement exempte de symptômes qui dure jusqu'à trois semaines. Dans le cas des doses plus élevées, la période de latence est plus courte. Elle est suivie d'une période de malaises manifestes, accompagnés des signes caractéristiques suivants : symptômes d'anorexie, fatigue, malaises, perte des poils, fièvre, infections, stomatite, et phénomènes hémorragiques. En plus de ces effets associés à la diminution de la moelle osseuse, on observe des signes et des symptômes caractéristiques dans les organes atteints qui mènent soit à une issue fatale ou à une récupération. Le pronostic pour les doses au corps entier <2,0 Gy est excellent; pour les doses >6,0 Gy, il est fatal dans 90 à 100 % des cas, et le pronostic est à la baisse lorsqu'on est en présence d'une blessure traumatologique [Vo 94].

Un autre indicateur de la gravité d'un état est la présence d'érythème cutané qui survient quelques minutes ou quelques heures après une exposition de plusieurs Gy. La perte des poils survient lorsque les doses dépassent 3 Gy, et se produit plutôt brusquement le 17^{e} jour environ après l'exposition.

Tableau 6 : Relations dose-effet à la suite d'une irradiation aiguë du corps entier (rayons X ou gamma) [Vo94]

Dose au corps entier (Gy)	Constats cliniques ou en laboratoire
0,05 à 0,25	Asymptomatique. Les études sanguines classiques sont normales. On peut détecter des aberrations chromosomiques
0,50 à 0,75	Asymptomatique. Faible chute du nombre de globules blancs et des plaquettes, détectable chez quelques personnes, particulièrement si des valeurs de référence sont établies
0,75 à 1,25	Doses minimales aiguës qui donnent lieu à des symptômes avant-coureurs (anorexie, nausées, vomissements, fatigue) chez environ 10 % à 20 % des personnes dans les deux jours qui suivent. On observe une faible chute des globules blancs et les plaquettes chez quelques personnes
1,25 à 2,00	Déroulement symptomatique accompagné d'invalidité transitoire et de changements hématologiques clairs chez la majorité des personnes exposées. On observe une chute du nombre de lymphocytes d'environ 50 % dans les 48 heures
2,40 à 3,40	Maladie invalidante grave chez la plupart des sujets, dont le taux de mortalité est d'environ 50 % si le sujet n'est pas traité. Chute du nombre de lymphocytes d'environ 75 % dans les 48 heures
5,00 et +	Version accélérée du syndrome d'irradiation aiguë, accompagnée de complications gastro-intestinales dans les deux semaines qui suivent, de saignements et de mort chez la plupart des sujets exposés
50,00 et +	Cours foudroyant, accompagné de complications cardiovasculaires et gastro-intestinales, et complications du système nerveux centrale causant la mort dans les 24 à 72 heures

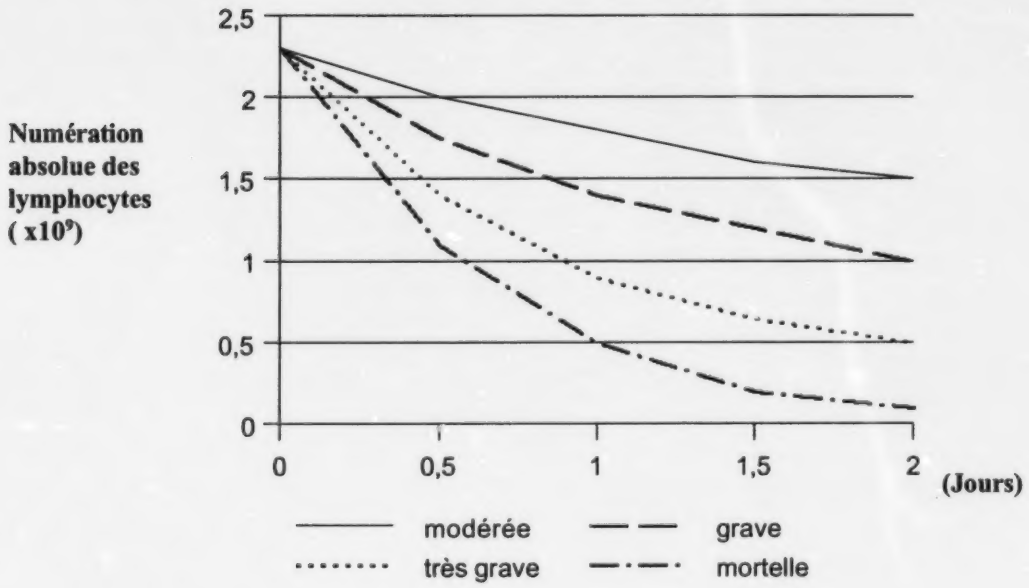
Si l'on dénombre 1 200 lymphocytes ou plus par millimètre cube dans un échantillon de sang périphérique 48 heures après l'exposition, la probabilité de survie est très bonne. Si on en dénombre moins de 500, on est en présence d'un pronostic faible. Si la numération totale des leucocytes n'atteint pas un plateau ou ne s'élève pas temporairement entre le jour 8 et le jour 20, c'est un signe de pronostic faible. Après que la diminution de la moelle osseuse ait atteint son minimum, les éléments sanguins commencent à récupérer, et sont entièrement restaurés dans les 6 mois qui suivent ou avant, sauf que la numération des lymphocytes peut demeurer en dessous de la normale pendant plusieurs jours. Andrews *et al* montrent des modèles de la réponse précoce des lymphocytes par rapport à la dose (Figure 3) ainsi que les valeurs pour chaque élément sanguin dans le syndrome hématopoïétique de gravité moyenne (Figure 4).

Dans les cas d'irradiation du corps entier relativement uniforme, une analyse cytogénétique des lymphocytes du sang périphérique est le test de laboratoire le plus efficace pour déterminer la réponse biologique clinique au rayonnement ionisant. Des doses aussi faibles que 0,15 Gy peuvent être détectées, avec un peu d'incertitude toutefois. Pour les doses semi-létales, la méthode est particulièrement utile pour vérifier les doses dans cet intervalle. On devrait prélever les échantillons

de sang pour la culture de lymphocytes le plus tôt possible et le nombre d'aberrations chromosomiques devrait être comparé à une courbe de référence appropriée, établie à partir de l'irradiation *in vitro* de sang entier en utilisant un rayonnement correspondant dans des conditions normalisées.

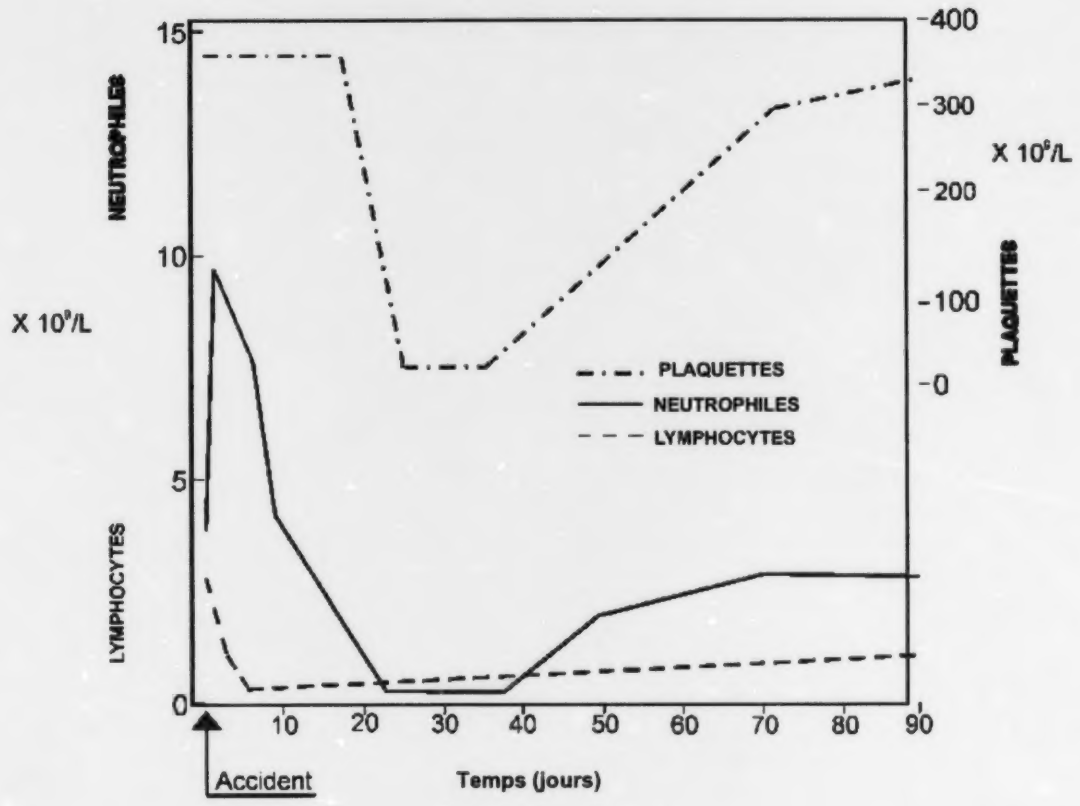
La dose nécessaire pour causer la stérilité permanente par suite d'une exposition du testicule au rayonnement varie considérablement dans les rapports actuels; certains rapports signalent qu'une dose aussi faible que 2 Gy est suffisante alors que la plupart des rapports indiquent qu'une dose de 5 à 6 Gy suffit. Le Comité des Nations Unies sur les effets des rayonnements ionisants en est venu aux conclusions suivantes :
(1) stérilité temporaire des testicules signalée pour une dose unique allant de 1,5 à 4 Gy et pour des doses fractionnées de 0,1 à 2 Gy;
(2) stérilité permanente pour des doses allant de 5 à 9,5 Gy et pour des doses fractionnées de 2 à 6 Gy.
Des changements dans la numération des spermatozoïdes surviennent suite à une exposition aiguë dans les 30 à 60 jours qui suivent l'exposition. Les testicules diffèrent d'autres organes en ce qu'une dose identique répartie dans le temps tend à causer davantage de dommages.
La stérilité temporaire peut continuer pendant un certain nombre d'années après l'exposition.

Figure 3 : Modèles de réponse précoce des lymphocytes par rapport à la dose



(d'après Andrews 1973 [An73])

Figure 4 : Changements dans le sang périphérique à la suite d'une irradiation modérée du corps entier



(tiré du rapport IAEA-TECDOC-366 [IA86])

EXPOSITIONS LOCALISÉES AUX RAYONNEMENTS

L'exposition localisée se produit lorsqu'une petite partie du corps, habituellement les extrémités, est irradiée par suite d'une exposition à un faisceau étroit ou en tenant une source de rayonnement. Si une proportion suffisante de moelle osseuse est épargnée par suite de l'irradiation, le syndrome d'irradiation aiguë ne se manifestera pas.

On signale souvent un symptôme initial de chaleur ressentie, le début des douleurs et la paresthésie, ainsi que des troubles de la sensibilité tactile et de la sensibilité à la chaleur. Le symptôme de chaleur dépend de la dose et du débit de dose. La douleur est décrite comme étant constante, très intense et perçue comme une brûlure. Dans les cas graves, elle peut résister aux analgésiques. Il existe quatre types de blessures [NC74] :

Type I : Érythème seulement, qui est équivalent à une brûlure thermique du premier degré, semblable à un léger coup de soleil. La dose seuil pour une zone de 3 cm de diamètre se situe entre 3 et 10 Gy. Le retard de l'apparence des signes et des symptômes dépend de la dose, et particulièrement pour les doses plus faibles, on peut compter 2 à 3 semaines.

Type II : Blessure transépidermique (desquamation humide), qui est équivalente à une blessure thermique du deuxième degré. Après que l'érythème se soit développé, des cloques se forment et se brisent en laissant une ouverture, et par le fait même une blessure à vif, douloureuse et sujette aux infections. La période exempte de symptômes est plus courte que dans le cas des blessures de type I et des cloques apparaissent dans la semaine ou les deux semaines qui suivent, selon la dose. Les doses seuil sont de l'ordre de 10 à 20 Gy. Ces lésions se cicatrisent généralement si elles sont bien soignées, mais la peau neuve est habituellement pigmentée, mince et facile à abîmer. Un oedème local marqué peut se produire et, si un tendon ou une surface synovial est atteinte, le mouvement peut être restreint.

Type III : La radionécrose dermique est causée par des doses supérieures à 20 Gy. Les lésions ressemblent à celles causées par une brûlure grave; la douleur vient rapidement et est intense. L'amputation est requise en cas de nécrose et lorsque les greffes de peau ne réussissent pas.

Type IV : Les dermatites chroniques causées par le rayonnement surviennent suite à une exposition au rayonnement bêta, gamma ou aux rayons X pendant une exposition de plusieurs mois ou années. Cet état semblable à l'eczéma se cicatrise rarement, provoque souvent des ulcères et prédispose au cancer de la peau.

La distribution, la nature (particulaire ou électromagnétique) et l'énergie du rayonnement sont des considérations importantes lorsqu'il s'agit de déterminer l'ampleur de la blessure et l'absence de guérison en raison d'une artérite causée par le rayonnement et d'une détérioration de la circulation. De façon générale, le rayonnement sous forme particulaire de moins de 10 MeV a un faible pouvoir de pénétration et ne donne lieu qu'à des blessures superficielles causant des dermites. En dépit des

blessures locales intenses, les résultats cliniques et de laboratoire sont peu alarmants. Des effets tardifs peuvent se produire par suite d'une atrophie insidieuse mais progressive des tissus, des fibroses et des radiodermites chroniques accompagnées d'une rupture des tissus.

Tableau 7 : Types de radiolésions locales

Type	Signes et symptômes	Seuil	Remarques
I	Érythème	3 à 10 Gy	Apparaît 2 à 3 semaines après l'exposition
II	Érythème et cloques	10 à 20 Gy	Apparaît 1 à 2 semaines après l'exposition, se cicatrise généralement
III	Nécrose	> 20 Gy	Radionécrose dermique, amputation probable
IV	Eczéma	Exposition chronique	Cicatrise rarement, prédispose aux ulcérations et au cancer de la peau

(Tiré du rapport nº 42 de NCRP [NC74])

ESTIMATION DES RISQUES

On suppose que toute augmentation de l'exposition au rayonnement résultera en une augmentation des risques des cancers radio-induits. Cette hypothèse est toutefois difficile à prouver. On a observé une augmentation du risque de cancer chez les survivants de l'explosion de la bombe atomique au Japon qui ont été exposés à des doses supérieures à 0,005 Sv [Pi96]. Des effets autres que le cancer ont été observés seulement pour des doses plus élevées et on suppose généralement qu'il s'agit d'effets seuil.

Les estimations des risques de cancer sont essentiellement fondées sur des études épidémiologiques portant sur des populations humaines exposées à des doses de rayonnement élevées. Ces populations comprennent les survivants de la bombe atomique, les personnes exposées en milieu de travail et les patients qui ont été exposés aux rayonnements ionisants dans le cadre d'un traitement médical. Le degré de risque associé à des doses plus faibles ne peut être extrapolé de manière directe. D'après des études épidémiologiques portant sur des humains, des expériences sur des animaux et des modélisations mathématiques, des coefficients de risque ont été calculés pour la mortalité par cancer en excès attribuable aux rayonnements ionisants. Un **facteur de réduction du facteur de dose** a été appliqué aux estimations du risque et dérivé de ces études afin de tenir compte des faibles expositions et des expositions étalées dans les expositions en milieu de travail. La Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a utilisé ces coefficients pour estimer à
5×10^{-2}/Sv la valeur nominale de la probabilité, pendant une vie, de développer un cancer radio-induit fatal dans une population de tous âges (grand public) et de 4×10^{-2}/Sv dans la population en âge de travailler (professionnelle). Le risque (pendant une vie) associé aux cancers fatals et non fatals pondérés et aux effets héréditaires est de $7{,}3 \times 10^{-2}$/Sv par sievert.

Le risque estimé pendant une vie de mourir d'un cancer est de 27 % au Canada. Par conséquent, sur 10 000 personnes, on estime que 2 700 personnes pourraient mourir du cancer. Si ces 10 000 personnes avaient été exposées au rayonnement (0,01 Sv/personne), on pourrait s'attendre à 5 décès additionnels imputables au cancer. Bien sûr, sur une base individuelle, le risque dépend de l'âge et du sexe de l'individu, et des risques de cancer de référence.

Les rayonnements ionisants peuvent produire des mutations génétiques et des aberrations chromosomiques. Si le gène affecté est situé dans une cellule reproductrice du testicule ou de l'ovaire, les dommages peuvent être transmis chez les descendants. Le comité BEIR V [BE90] a conclu, après examen des preuves que la **dose doublante** chez les humains n'est probablement pas inférieure à 1 Sv. La dose doublante est le rayonnement qui doublerait les risques de défauts génétiques spontanés dans une population exposée.

Des études épidémiologiques ont été réalisées au Canada chez les travailleurs exposés en milieu de travail car on estime que ces derniers reçoivent des doses liées à l'exposition supérieures à celles pouvant être reçues par le grand public. Par exemple, une étude de mortalité chez un groupe de sujets exposés utilisant les registres du Fichier dosimétrique national signale un excès de risque relatif estimé à 3 % par 10 mSv (90 % C.I. 1.1-4.8) pour tous les cancers regroupés. Ce groupe de sujets exposés comptait 200 000 individus surveillés entre 1951 et 1983 [As98]. Ontario Power Generation Inc. signale dans une série de rapports les décès survenus dans la corporation. Les décès par cancer chez les hommes étaient inférieurs aux décès d'hommes du grand public de même âge. Une observation semblable a été faite dans une analyse des décès chez les employés d'Énergie atomique

du Canada Limitée pendant la période de 1950 à 1981 [Ho87]. Une autre analyse des décès par cancer dans ce groupe de sujets exposés pendant la période de 1956 à 1985 indique un risque relatif en excès de 0,36 % [Gr 93] pour tous les cancers. Les auteurs de l'étude concluent qu'il est improbable que les estimations du risque fondées sur des études de doses élevées sous-estiment considérablement les risques pour les expositions impliquant de faibles doses et de faibles débits de dose.

Les risques liés aux incidences de cancer en rapport avec l'exposition au rayonnement sont également à l'étude chez Ontario Power Generation Inc. et au Fichier dosimétrique national. L'étude d'Ontario Power Generation sera une étude cas-témoins où les cas proviendront de l'Ontario Cancer Registry et où l'information sur les doses sera tirée du Radiation Dose Information System d'Ontario Power Generation Inc.

En plus de l'étude sur les risques de cancer, d'autres études ont tenté d'évaluer les risques de séquelles chez les enfants dont les parents ont été exposés. Une étude, qui sera publiée sous peu, évaluera le risque d'avoir un enfant qui présente une anomalie congénitale en rapport avec l'exposition en milieu de travail aux rayonnements ionisants pendant la période suivant la conception. Cette étude cas témoins est fondée sur le Canadian Congenital Anomalies Registry et utilise des techniques de correspondance de dossiers pour déterminer les anomalies congénitales chez les descendants des employés d'Ontario Power Generation. Le risque d'anomalie congénitale est évalué en rapport avec l'exposition des parents à des doses de rayonnement estimées quantitativement et subies dans le cadre de leurs activités professionnelles dans une centrale nucléaire.

Probabilité de cause à effet

Le nombre de demandes d'indemnisation de la part de victimes de cancers imputables à une exposition au rayonnement augmente. Toutefois, il n'est pas encore possible de déterminer avec précision la cause d'un état de malignité particulier. Une méthode fondée sur des estimations du risque et dérivée d'études épidémiologiques évalue la probabilité qu'une malignité particulière soit causée par une exposition spécifiée au rayonnement (PCE). Si la dose de rayonnement reçue par un individu peut être déterminée, alors la PCE peut être calculée au moyen d'une formule. La PCE est estimée d'après le rapport de l'incidence accrue de malignité imputable à une exposition spécifiée au rayonnement à la somme du taux de malignité spontanée et de l'augmentation imputable à l'exposition particulière aux rayonnements.

Il faut se rappeler que cette méthode estime une probabilité; elle ne constitue aucunement une preuve de cause à effet. Il existe de nombreuses incertitudes dans les estimations des risques utilisées dans les calculs et cette méthode suppose que l'individu est de susceptibilité moyenne. Elle ne tient pas compte des expositions à d'autres substances cancérogènes ou à d'autres facteurs de risques. Les incertitudes peuvent être réduites quelque peu en utilisant des données sur l'individu comme l'âge, le sexe, la durée de l'exposition, le type de malignité, etc.

LIEUX DE TRAVAIL OÙ ON PEUT TROUVER DES RADIONUCLÉIDES

Lieux de travail où on peut trouver des radionucléides
- Cycle du combustible
- Industrie
- Enseignement et recherche
- Médecine
- Sources naturelles de rayonnement

Activités associées aux radionucléides industriels utilisés couramment

Description des radionucléides par source

LIEUX DE TRAVAIL OÙ ON PEUT TROUVER DES RADIONUCLÉIDES

CYCLE DU COMBUSTIBLE

Extraction minière et concentration de l'uranium

Des techniques à ciel ouvert ou souterraines sont employées pour extraire le minerai qui est ensuite concassé et broyé. Il est suivi d'une lixiviation chimique, puis de la séparation de l'uranium et de la précipitation de l'U_3O_8, connu sous le nom de « yellowcake ». Le processus qui va du concassage à la production d' U_3O_8 est appelé « concentration ». La roche qui reste, ou les résidus sont déchargés dans un étang de retenue, puis neutralisés. Un composé de baryum est utilisé pour faire précipiter le radium 226 qui serait autrement lixivié dans l'eau souterraine.

Les travailleurs peuvent recevoir des doses par exposition interne ou externeau cours de ces processus. L'exposition interne est principalement causée par l'inhalation de radon gazeux et des produits issus de sa désintégration dans les mines souterraines, et de particules radioactives contenues dans la poussière de minerai (principalement de l'uranium 238 et d'autres émetteurs alpha dans cette chaîne de désintégration). Les risques radiologiques présents dans l'industrie de l'uranium sont décrits de façon plus approfondie ailleurs [AC98, Sa91, AI81].

Raffinage de l'uranium

Le raffinage débute lors de l'addition d'acide nitrique au concentré d'uranium pour former du nitrate d'uranyle et, par une série d'étapes chimiques, on produit du dioxyde d'uranium (UO_2). Même si ces procédés sont réalisés dans des milieux étanches, les travailleurs peuvent être exposés pendant l'entretien, ainsi qu'en cas de fuite. Cependant, il faut noter que les composés d'uranium solubles sont généralement plus toxiques chimiquement que radiologiquement.

Fabrication du combustible

La fabrication du combustible est un procédé qui consiste à convertir le dioxyde d'uranium de manière à lui conférer une forme physique qui convienne à son utilisation dans le réacteur. La poudre de dioxyde d'uranium est pressée, frittée en pastilles dures, qui sont ébarbées puis chargée dans des barres de combustible habituellement constituées d'un alliage de zirconium.

Durant la fabrication du combustible, la source principale d'exposition est l'exposition à l'uranium, car la majeure partie des produits de désintégration ont été retirés dans les procédés antérieurs. Le débit de dose du rayonnement gamma est relativement faible comparativement à celui de rayonnement bêta. Les expositions actuelles ont tendance à être faibles en raison des contrôles techniques.

Fonctionnement du réacteur

Le tritium (H-3) présente les risques d'irradiation interne les plus importants dans une centrale nucléaire CANDU, et constitue habituellement 30 % de la dose de rayonnement reçue par les employés. Il est présent pendant le cycle opérationnel du réacteur à la fois dans les circuits du modérateur et dans les circuits du caloporteur qui contiennent de l'eau lourde (D_2O). Le tritium émet

des particules bêta de faible énergie qui doivent être détectées à l'aide d'instruments spéciaux (la plupart des instruments sont conçus pour mesurer le rayonnement gamma ou le rayonnement bêta de haute énergie). Alors que le rayonnement bêta ne peut pénétrer la couche extérieure de la peau intacte, comme la vapeur d'eau (HTO), il pénètre dans le corps par les poumons, les viscères et la peau, se dispersant rapidement dans le corps. Le personnel de la centrale porte des combinaisons de plastique avec appareils respiratoires dans les atmosphères contenant du tritium. Le tritium peut aujourd'hui être retiré de l'eau lourde, ce qui réduit considérablement les risques qu'il présente.

Le carbone 14 est un autre émetteur de particules bêta de faible énergie qui est produit dans les réacteurs CANDU par des réactions avec l'oxygène 17 dans des combustibles d'oxydes, avec le modérateur et avec le caloporteur, ainsi que par des réactions avec l'azote 14 dans le combustible. La majeure partie du carbone 14 produit dans le circuit du modérateur et dans le système caloporteur primaire est retenu par les résines échangeuses d'ions qui filtrent les circuits d'eau lourde ou dans le combustible (>90 %) alors qu'environ 4 % est libéré dans l'atmosphère principalement à partir du gaz de couverture du modérateur. Des rejets surveillés dans l'atmosphère peuvent se produire pendant la purge du gaz de couverture du modérateur. Périodiquement, la résine est retirée du réacteur et entreposée localement ou dans un site d'évacuation des déchets. Ces déchets sont à leur tour des sources potentielles de rejet atmosphérique. Une fois que le carbone 14 est mis en suspension dans l'air sous forme de dioxyde de carbone 14, il peut également se disperser dans l'environnement [AC95]. Le dioxyde de carbone 14 interagit avec la végétation dans le cadre de la photosynthèse et s'intègre ainsi dans le cycle du carbone.

D'autres formes d'exposition interne pourraient survenir suite à l'inhalation de gaz rares ou de particules libérées sous forme d'aérosols. Il en existe de nombreux types pouvant découler d'accidents mineurs pendant l'exploitation normale d'une centrale. Ces composés comprennent les produits de corrosion (cobalt 60, fer 56), les produits d'activation (carbone 14, zirconium 95) et les produits de fission (césium, strontium et iode 131). Tous ces produits sont libérés de temps à autre dans les centrales. Il existe cependant des rejets plus graves causés par des dommages graves au combustible ou au coeur.

Lors d'un accident nucléaire impliquant une perte de caloporteur, des produits de fission peuvent se dégager du combustible présent dans les grappes de combustible. Si ce type de rejet se produit, il est généralement confiné, de sorte qu'il ne pose aucun risque interne immédiat à moins qu'une personne se trouve par malchance à l'intérieur du confinement ou qu'il y ait un rejet en provenance du confinement vers la baie auxiliaire du réacteur. Le processus de fission produit un très grand nombre d'isotopes. La modélisation laisse croire que les isotopes d'abondance relative élevée et d'importance radiobiologique élevée sont les isotopes du césium et de l'iode, liés chimiquement principalement sous forme d'iodure de césium, d'hydroxyde de césium et d'autres oxydes métalliques ayant un certain degré de volatilité (baryum, molybdène, ruthénium, strontium et lanthanum).

LIEUX DE TRAVAIL OÙ ON PEUT TROUVER DES RADIONUCLÉIDES

INDUSTRIE

Les radionucléides ont de nombreuses applications. Les industries associées aux doses les plus élevées pour les travailleurs sont la radiographie industrielle, la diagraphie des puits, les applications de la luminescence et la production de radioisotopes. Certaines autres utilisations courantes des radionucléides seront discutées parce que, même si les doses attribuables à la manipulation normale sont très petites, elles peuvent donner lieu à des expositions accidentelles importantes. Consulter la liste comportant des renseignements sur l'activité type des radioisotopes industriels couramment utilisés.

Radiographie industrielle

La radiographie industrielle est une forme d'essai non destructif qui utilise les rayons gamma émis par une source radioactive. La source traverse l'échantillon à l'étude (p. ex. conduites, planchers de béton) et le faisceau émergent est enregistré sur film. Les défauts dans l'échantillon (p. ex. fissures, vides, inclusions) atténuent le faisceau d'une manière différente de celle du matériau constituant l'échantillon et on peut les observer sur le film.

Tous les appareils d'exposition utilisent un conteneur blindé qui abrite la source lorsque celle-ci n'est pas utilisée. L'exposition d'un opérateur d'appareil dépend de sa conception. Les appareils d'exposition sont classés dans les catégories suivantes : à manivelle, pneumatiques, mobiles et de type faisceau. Dans les appareils de type faisceau, par exemple, la source ne quitte pas son boîtier, mais est exposée en la déplaçant devant une fenêtre où le blindage a été retiré. Ces appareils aident à réduire au minimum l'exposition de l'opérateur.

Les radiographes industriels sont le groupe de travailleurs sujets aux plus grandes expositions [AIC97]. Les sources couramment utilisées sont l'iridium 192 et le cobalt 60 [As97].

Diagraphie de puits de pétrole et de gaz et traçage

On utilise des sources de radioisotopes scellées et non scellées dans l'exploration des puits et la production.

On trouve habituellement le pétrole et le gaz dans des formations rocheuses qui ressemblent à une éponge, le produit pétrolier étant piégé sous pression dans les espaces creux. Lorsqu'un puits est foré, la pression du réservoir fait fuir le pétrole ou le gaz hors de la roche semblable à une éponge vers le trou de forage et donc vers la surface. À mesure que le pétrole est extrait, la pression du réservoir baisse et éventuellement atteint un point où le pétrole ne s'écoule plus de la formation sous l'effet de sa propre pression. C'est alors que la compagnie pétrolière fait appel à la stimulation du puits pour procéder à une récupération secondaire de pétrole.

L'une des méthodes de stimulation porte le nom de fissuration. Ce procédé utilise un liquide haute pression afin de fissurer la formation rocheuse en dégageant par le fait même d'autres voies pour le passage du pétrole ou du gaz afin qu'il atteigne le trou de forage. Pour s assurer que les fissures se

produisent au bon endroit, une petite quantité de sable marqué par une substance radioactive (habituellement l'iridium 192) est ajoutée au flux principal coulant dans le puits et un détecteur descendu dans le trou par la suite permet de trouver les fissures.

Une récupération tertiaire du pétrole est également possible parce que de nombreux puits sont habituellement forés dans une même formation. Si de l'eau, de la vapeur ou un solvant sont injectés dans le puits, la matière s'écoulera dans la formation rocheuse, évacuant le pétrole, vers les trous de forage d'autres puits. Pour déterminer l'efficacité du système, un marqueur est ajouté au liquide injecté et les quantités relatives de marqueur trouvées à chaque puits sont mesurées. Le marqueur est habituellement ajouté directement à la tête du puits d'injection, soit à l'aide d'une source de pression externe comme un gaz comprimé ou une pompe électrique, soit au moyen de la pression différentielle à l'étrangleur du système d'injection lui-même. Les isotopes employés dans le marquage du pétrole et du gaz varient grandement mais les plus couramment utilisés sont l'hydrogène 3, le césium 137, le césium 34 et le cobalt 60.

Des sources scellées sont utilisées dans l'industrie du pétrole et du charbon pour obtenir des renseignements sur les formations géologiques souterraines. Ces appareils sont encapsulés dans un outil qui est descendu dans le trou de forage à l'aide d'un câble. Ils comprennent également un détecteur qui mesure le rayonnement rétrodiffusé par la formation rocheuse. Le rayonnement rétrodiffusé est analysé par des ordinateurs à la surface. Les sources employées pour ces travaux comprennent le césium 137 et le cobalt 60, ainsi que des émetteurs de neutrons comme l'américium 241/béryllium.

Luminescence

La majorité des dispositifs photogènes, comme les enseignes de sortie et les balises de pistes d'atterrissage utilisent le tritium pour exciter le phosphore dans un tube de verre. Les petites sources d'étalonnage utilisent le carbone 14. Auparavant, on utilisait le radium 226 dans les montres et les cadrans d'instruments.

Production de radioisotopes

On utilise de plus en plus les radioisotopes en médecine et dans l'industrie. Ils sont produits par des réacteurs ou des cyclotrons, puis traités en vue d'obtenir le composé souhaité. La principale source d'exposition en milieu de travail lors de la fabrication ou le traitement des radioisotopes est l'irradiation externe. Dans certains cas, l'exposition peut aussi être importante.

Éliminateurs de statique

Les éliminateurs de statique utilisent des sources scellées de radioisotopes, soit le polonium 210 et l'américium 241 pour ioniser l'air dans les endroits où l'électricité statique s'accumule et est indésirable.

Détecteurs de fumée

Les détecteurs de fumée utilisent des sources scellées de radioisotopes. En présence de produits de combustion, le courant généré par un faisceau de particules alpha est interrompu, ce qui déclenche une alarme. L'américium 241 est couramment utilisé dans les détecteurs domestiques. Le radium 226 était utilisé dans les anciens détecteurs.

Jauges

Ces appareils utilisent des sources scellées de radioisotopes pour mesurer les caractéristiques particulières d'une matière à l'essai. Les jauges fixes sont habituellement attachées aux équipements industriels à surveiller pour mesurer la densité d'un matériau dans des conduites, des cuves ou des toiles mobiles se trouvant à proximité. La source, habituellement un émetteur gamma comme le césium 137 est placée sur l'un des côtés du matériau à mesurer alors que le détecteur se trouve de l'autre côté. Le degré d'atténuation du rayonnement gamma est directement proportionnel à la densité du matériau.

Des jauges portatives comme les jauges d'humidité/de densité peuvent être utilisées pour mesurer le compactage du sol, de la pierre, ou de l'asphalte dans les talus et la teneur en humidité de presque tous les types de solides. Les jauges portatives peuvent abriter deux sources pour mesurer deux paramètres à la fois. Par exemple, une source gamma, comme le césium 137, peut être employée pour mesurer la densité de remblais routiers, alors qu'une source d'américium 241/béryllium peut être utilisée pour mesurer l'humidité ou la teneur en asphalte. Toute matière contenant de l'eau ralentira ou thermalisera les neutrons. Ces neutrons thermiques retrodiffusés peuvent être mesurés et le signal est proportionnel à la quantité de matière formée par l'eau qui est présente.

Détection à capture électronique

Ce procédé est utilisé dans les chromatographes en phase gazeuse, qui sont des instruments de laboratoire qui séparent un mélange de gaz en ses composantes. Une source bêta scellée est utilisée pour produire un faisceau d'électrons à l'intérieur du détecteur. Lorsque les gaz sont séparés et qu'ils sortent de la colonne de séparation, ils traversent le détecteur. Lorsque le volume du détecteur est vide, il émet un signal électrique continu. Lorsqu'un gaz entre dans le détecteur, une partie des électrons sont capturés par le gaz et le signal électrique est modifié. Cette perturbation est mesurée et est proportionnelle à la quantité de gaz présent.

Radappertisation

Le rayonnement gamma de haute énergie, habituellement émis par une source scellée de cobalt 60 est utilisé pour stériliser une grande variété de matériaux. Les modèles de laboratoire utilisent une source fortement blindée et l'accès des personnes est impossible dans la configuration nominale. Les usines de stérilisation commerciale, par contre, utilisent une source qui est entreposée dans un bassin d'eau. Pendant l'utilisation, la source est élevée et l'espace au-dessus devient la zone irradiée. L'accès des personnes à la zone irradiée doit être rigoureusement contrôlé afin d'éviter l'exposition au rayonnement.

LIEUX DE TRAVAIL OÙ ON PEUT TROUVER DES RADIONUCLÉIDES

ENSEIGNEMENT ET RECHERCHE

De nombreuses institutions utilisent des matières radioactives à des fins d'enseignement et de recherche. Dans certaines institutions, on enseigne la radiographie industrielle, mais les quantités de sources non scellées utilisées, habituellement des marqueurs pour l'enseignement de la biologie ou des sciences médicales, sont généralement petites. Presque tous les radioisotopes peuvent être utilisés dans ces études, mais les marqueurs biologiques les plus courants sont l'hydrogène 3, le phosphore 32 et le soufre 35, alors qu'en médecine on utilise des radioisotopes comme le technétium 99 m et le gallium 67. Les radioisotopes volatils ne sont pas souvent employés en recherche. L'iode 125, employé pour le marquage, est volatil mais n'est pas utilisé souvent.
Les radioisotopes les plus courants, soit l'hydrogène 3, le phosphore 32 et le soufre 35, sont utilisés sous forme non volatile dans les essais ouverts en laboratoire.

LIEUX DE TRAVAIL OÙ ON PEUT TROUVER DES RADIONUCLÉIDES

MÉDECINE

Les hôpitaux et les cliniques utilisent diverses sources scellées et non scellées à des fins de diagnostic et de traitement.

La médecine nucléaire dans sa forme la plus simple consiste à imager et à traiter les maladies humaines. On utilise une molécule radioactive qui permet soit de déterminer le processus morbide d'une maladie ou de faciliter son traitement.

La médecine nucléaire a connu ses débuts à titre de spécialité de l'imagerie médicale il y a environ 30 ans, avec l'utilisation clinique d'iode radioactif (iode 131) dans le diagnostic et le traitement des troubles de la thyroïde. Depuis lors, l'équipement utilisé pour imager les patients s'est considérablement amélioré, tout comme la diversité des agents employés pour diagnostiquer et traiter les patients. On utilise la grande majorité des services cliniques de médecine nucléaire pour le diagnostic des maladies touchant presque tous les systèmes corporels. La scintigraphie osseuse (strontium 89, technétium 99 m, PET au fluor 18), les études cardiaques (thorium 201, technétium 99 m), les examens du débit rénal (technétium 99 m), la scintigraphie cérébrale (PET au fluor 18), la scintigraphie des poumons (technétium 99 m) et les études de diffusion pulmonaire (carbone 14) ne sont que quelques-unes des méthodes courantes qui existent pour étudier les états du corps humain. Ces essais sont basés sur l'imagerie fonctionnelle qui révèle comment le corps fonctionne lorsqu'il est sain ou malade. La grande majorité des études comportent l'injection d'une petite quantité de matière radioactive qui permet d'obtenir des images après que la radioactivité a été répartie dans le corps. Les doses administrées ont tendance à être de l'ordre de 1 GBq et, en raison des courtes périodes en cause, la charge de rayonnement reçue par le patient est assez petite. À quelques rares exceptions près, l'imagerie de médecine nucléaire de même que tous les types d'imagerie, est sûre pour les patientes enceintes, mais il faut prendre tout de même quelques précautions normales pour éviter ou réduire au minimum l'exposition du foetus.

À l'occasion, il est nécessaire de recourir à la thérapie utilisant des sources non scellées; un exemple classique en est le traitement de l'hyperthyroïdie ou du cancer de la thyroïde par de l'iode radioactif administré à l'intérieur du corps. Plus récemment, on observe de nouveaux intérêts pour le traitement des métastases osseuses par divers agents émetteurs de particules bêta, comme le strontium. Dans ces cas particuliers, le but de la thérapie consiste à déposer des doses importantes de rayonnement dans des zones cibles particulières et, par conséquent, l'exposition au rayonnement du patient est nécessairement beaucoup plus élevée, bien évidemment pour le mieux-être du patient.

Des sources scellées de haute activité, comme le cobalt 60 dans les appareils de téléthérapie et de curiethérapie sont utilisées pour le traitement du cancer. L'accès des humains est contrôlé, mais en cas d'accident (ce qui est très rare), l'exposition pourrait être élevée.

LIEUX DE TRAVAIL OÙ ON PEUT TROUVER DES RADIONUCLÉIDES

SOURCES NATURELLES

Les matières radioactives naturelles peuvent se concentrer suite à l'activité humaine et sont une source d'exposition au rayonnement en milieu de travail et dans l'environnement.

Mines souterraines

Les travailleurs des mines de charbon et d'autres mines souterraines sont exposés à des niveaux accrus de rayonnement naturel, principalement le radon et ses produits de désintégration [UN93]. Les mines d'uranium ont été mentionnées plus tôt.

Industrie pétrolière et gazière

Dans l'industrie pétrolière et gazière, la quantité de matière naturelle amenée à la surface augmente généralement avec la quantité d'eau pompée de la formation géologique renfermant du pétrole et du gaz. À mesure que l'eau est amenée à la surface avec le pétrole et le gaz, sa température et sa pression changent et elle peut former un dépôt ou une boue sur l'équipement.

On trouve de l'uranium et du thorium en différentes concentrations dans ces formations géologiques souterraines, mais ils sont relativement solubles et demeurent sous terre lorsque l'eau est amenée à la surface. Cependant, le radium et ses produits de filiation (produits de désintégration de l'uranium et du thorium) sont légèrement solubles et peuvent se dissoudre ou précipiter dans les dépôts et la boue. Les dépôts que l'on trouve sur l'équipement de production contiennent habituellement du radium coprécipité dans le sulfate de baryum.

Les travailleurs les plus touchés dans l'industrie sont les opérateurs de machines d'extraction du pétrole et du gaz, les équipes d'entretien (entretien des puits) et les personnes qui nettoient l'équipement.

Industrie des fertilisants

Les roches qui renferment du phosphate sont employées comme matière brute pour la production de fertilisants au phosphate d'ammonium. La roche phosphate contient des niveaux trace d'impuretés radioactives, comme l'uranium 238 et le thorium 232, et leurs produits de filiation (le radium 226 et le radon 222 présentent un intérêt particulier). À cause du traitement chimique de la roche, on trouve des traces d'uranium 238 et de thorium 232 dans le fertilisant, alors que le radium 226 est plutôt détecté dans le produit de phosphogypse. Les dépôts et la boue qui contiennent du radium 226 peuvent également s'accumuler dans l'équipement de traitement.

Les travailleurs de l'industrie les plus susceptibles d'être exposés aux dépôts et aux boues sont les techniciens des opérations d'acide phosphorique et les techniciens qui procèdent à l'entretien.

Un certain nombre de recherches indépendantes sont en cours au Canada afin de trouver des utilisations au phosphogypse. Il pourrait être utilisé en agriculture et dans la construction. Pour les travailleurs, cela signifie que l'exposition directe au rayonnement et que l'inhalation des radionucléides associés au phosphogypse seraient possibles.

ACTIVITÉ TYPE DES RADIONUCLÉIDES COURAMMENT UTILISÉS DANS L'INDUSTRIE

Sources scellées :

Américium 241 (habituellement jusqu'à 37 GBq par source)
Américium 241/Béryllium (jusqu'à 740 GBq par source)
Césium 137 (habituellement jusqu'à 370 GBq par source, bien que certains irradiateurs contiennent des sources beaucoup plus élevées)
Cobalt 60 (jusqu'à 3700 GBq pour l'utilisation industrielle courante, mais certains grands irradiateurs commerciaux contiennent jusqu'à 111 PBq
Iridium 192 (jusqu'à 3700 GBq par source)
Krypton 85 (jusqu'à 56 GBq par source)
Nickel 63 (jusqu'à 555 MBq par source)
Polonium 210 (jusqu'à 7400 MBq par source)
Strontium 90 (jusqu'à 296 GBq par source)

(Préfixes des unités SI : M = 10^6, G = 10^9, T = 10^{12}, P = 10^{15})

Sources ouvertes :

Antimoine 124 (limite de possession courante : 74 GBq)
Brome 82 (limite de possession courante : 18 GBq)
Césium 134 (NOTA : pas le Cs 137)(limite de possession courante 74 GBq)
Cobalt 60 (limite de possession courante : 74 GBq)
Hydrogène 3 (limite de possession courante : 74 TBq)
Iode 131 (limite de possession courante : 37 GBq)
Iridium 192 (limite de possession courante : 111 GBq)
Krypton 85 (limite de possession courante : 740 GBq)
Nickel 63 (limite de possession courante : 185 GBq)
Scandium 46 (limite de possession courante : 37 GBq)
Sodium 24 (limite de possession courante : 18 GBq)

(Préfixes des unités SI : M = 10^6, G = 10^9, T = 10^{12}, P = 10^{15})

DESCRIPTION DES RADIONUCLÉIDES COURAMMENT UTILISÉS - PAR SOURCE

Sources scellées :

Césium 137
Des sources scellées jusqu'à 370 GBq sont employées dans des jauges nucléaires fixes. Des milliers de ces appareils sont utilisés partout au Canada, principalement dans l'industrie de l'acier, du papier et de la mise en bouteille (environ 700 titulaires de permis). Des sources de plus forte activité, jusqu'à 740 GBq, sont utilisées par environ 35 titulaires de permis dans l'industrie de la diagraphie des puits de pétrole. Le césium 137 est également utilisé en curiethérapie pour le traitement du cancer.

Iridium 192
Des sources jusqu'à 3700 GBq sont utilisées en radiographie industrielle. Cette application des radioisotopes n'emploie que 3 % des travailleurs sous rayonnements au Canada, mais on y trouve presque 70 % de la dose absorbée reçue par les travailleurs sous rayonnements (environ 140 titulaires de permis). L'iridium 192 est également utilisé en curiethérapie pour le traitement du cancer.

Polonium 210
Des bandes-sources dont l'activité peut aller jusqu'à 7400 MBq sont fréquemment utilisées dans des appareils d'élimination de l'électricité statique. On dénombre au Canada environ 90 titulaires de permis.

Américium 241 (sous forme d'américium 241/béryllium - sources de neutrons)
Ces sources sont principalement utilisées dans des jauges d'humidité et de densité portatives. L'activité des sources peut atteindre 1850 MBq, et on dénombre environ 500 titulaires de permis au Canada. Les sources de plus forte activité, jusqu'à 740 GBq, sont utilisées dans l'industrie de la diagraphie des puits de pétrole.

Cobalt 60
Le cobalt 60 est utilisé dans les irradiateurs industriels ou les irradiateurs de laboratoire. Les grands stérilisateurs commerciaux peuvent atteindre 148 PBq, alors que les modèles de laboratoire contiennent environ 1 PBq. Il existe quatre installations du premier type au Canada, et 34 du deuxième type. Le cobalt 60 est également utilisé en curiethérapie pour le traitement du cancer.

Nickel 63
400 titulaires de permis utilisent des détecteurs à capture électronique dont l'activité atteint jusqu'à 555 MBq de nickel 63 sous forme de source scellée.

Sources ouvertes :
Les isotopes en source ouverte sont utilisés par des compagnies pharmaceutiques et par des laboratoires de recherche privés. Ils ne sont pas utilisés très fréquemment dans le secteur industriel mais en voici quelques exemples que l'on trouve dans les applications suivantes :

Nickel 63, technécium 99 (et non le technécium 99 m), hydrogène 3, brome 82, krypton 85

Utilisés comme marqueurs dans des procédés industriels comme ceux des raffineries et les usines de fabrication de papier. On peut utiliser jusqu'à 3700 MBq dans un projet. Les compagnies sont autorisées à effectuer de tels travaux au Canada.

Iridium 192, scandium 46, antimoine 124

Utilisés comme marqueurs durant les opérations de « fissuration des puits ». Lors d'une grande opération de fissuration, 3700 MBq peuvent être injectés dans un puits de pétrole. Les compagnies sont autorisées à effectuer de tels travaux au Canada.

OÙ PEUT-ON OBTENIR DE PLUS AMPLES RENSEIGNEMENTS CONCERNANT CERTAINS RADIONUCLÉIDES PARTICULIERS?

Introduction

En raison de la grande diversité des applications médicales et industrielles utilisant la radioactivité, on dénombre beaucoup de radio-isotopes qui nous permettent d'obtenir des renseignements utiles et parfois cruciaux dans le cadre de nos professions. Heureusement, la contamination d'êtres humains par des radionucléides est très rare [NC79, Me90]. Cependant, dans les rares cas où des travailleurs sont exposés accidentellement à des matières radioactives, ce répertoire de radio-isotopes particuliers peut servir de source initiale de renseignements. Nous espérons que les références fournies permettront d'explorer des avenues diagnostiques et thérapeutiques plus précises.

Américium	Américium 241
Période :	458 ans
Principales émissions :	Particules alpha, rayonnement gamma de 26 et 60 keV
Voies d'absorption :	inhalation, contamination directe par le biais d'une blessure
Principaux sites de rétention :	foie et os
Thérapie :	DTPA par intraveineuse (acide diéthylènetriaminepentaacétique) excision de la blessure et lavage au DTPA

L'américium n'est pas une matière naturelle. Il possède plusieurs isotopes mais son principal isotope, l'américium 241, est un produit de filiation du plutonium 241 et on le trouve souvent dans le traitement ou la manipulation du plutonium. L'américium 241 a une période physique de 458 ans et une période efficace dans les os de 140 ans. La période efficace présumée dans le corps entier est de 150 ans et, dans le foie, elle est de 20 ans [IC88]. L'américium 241 se désintègre essentiellement en émettant des particules alpha et des photons (rayons gamma) dont l'énergie est de 26 et de 60 keV. L'américium 241 est surtout employé comme source de rayonnement dans les éliminateurs d'électricité statique, les jauges d'épaisseur et les sources d'étalonnage. Dans les débuts de la densitométrie minérale osseuse à double photon, on l'utilisait comme source principale d'énergie. Combiné au béryllium, l'américium est souvent utilisé comme source de neutrons.

L'américium s'accumule généralement dans le corps seulement par instillation directe ou par inhalation. L'absorption est faible, si ce n'est inexistante lorsque la substance est administrée dans la voie gastro-intestinale [Du73]. On pense que l'absorption par la peau intacte est limitée, mais qu'elle est probablement accrue, comme dans le cas du plutonium, lorsqu'elle est dissoute dans une solution qui détruit l'intégrité de la barrière cutanée.

Dans l'industrie, l'inhalation de particules est une voie d'exposition importante. L'absorption dépend beaucoup des propriétés chimiques et physiques des particules, comme pour tout aérosol. Des études sur les rats indiquent que 75 à 85 % de la charge initiale aux poumons est absorbé par le corps,

qu'environ 10 % est retenu par les poumons et que moins de 15 % est dégagé par les poumons par transport mucocillaire normal et excrété par les fèces.

Une fois absorbé, l'américium se dépose essentiellement dans le foie et dans le squelette; des quantités moindres sont présentes initialement dans les reins et la rate. Chez les animaux, le squelette est probablement l'organe critique pour ce qui est des effets à long terme en raison du fait que la période efficace est plus longue dans les os que dans les autres organes. Le foie est également un organe critique. Cependant, les doses les plus élevées à long terme sont généralement déposées dans les nodules lymphatiques trachéobronchiques, le foie, les poumons, puis les os.

Le traitement en cas de dépôt interne d'américium, peu importe la voie d'exposition, est l'administration immédiate d'un chélate métallique, habituellement le DTPA (acide diéthylènetriaminepentaacétique) ou une substance connexe, l'EDTA. En cas de plaie contaminée, la partie locale doit être excisée rapidement, puisque le taux d'absorption de l'américium est quelquefois plus rapide (plus de 50 % la première journée). La teneur de la substance dans le foie de chiens auxquels on avait administré de l'EDTA a diminué d'un facteur de 200 pendant la période de traitement de 203 jours, contrairement à celle d'un chien témoin pour lequel le facteur de réduction n'a été que de 3 pendant la même période. Une dose humaine type pour ce traitement est d'environ 1 g de DTPA par jour. Comme dans la plupart des traitements, une administration précoce est importante pour assurer l'efficacité de la substance [Se75, Se76, Co76]. D'autres études démontrent que même un traitement tardif aux chélates favorise l'élimination de l'activité par le corps. Au chapitre de la toxicité, l'américium 241 est un agent de classe 1 (toxicité très élevée) selon l'Agence internationale de l'énergie atomique.

Carbone	Carbone 14
Période :	5730 ans
Principales émissions :	157 keV - bêta
Voies d'absorption :	poumons, voie gastro-intestinale et peau
Principaux sites de rétention :	tous les tissus
Thérapie :	pour la plupart des types d'exposition, aucun traitement n'existe

Les deux principaux isotopes du carbone sont le carbone 11 et le carbone 14. Le carbone 11 est un émetteur de positons (électrons chargés positivement) dont la période est de 20,3 minutes; l'énergie moyenne des positons est de 394 keV. Le carbone 14 est essentiellement un émetteur de particules bêta de faible énergie dont l'énergie maximale est de 157 keV; sa période physique est extrêmement longue (5 730 ans). C'est l'une des principales raisons pour lesquelles la datation au carbone 14 est si populaire. Il ne s'accumule activement que pendant la durée de vie du spécimen faisant l'objet de la datation et, par conséquent, la quantité de carbone 14 qui subsiste dans le spécimen après la mort est un bon indicateur de l'âge approximatif au moment de la mort.

Le carbone 11 est principalement utilisé en tomographie clinique par émission de positons, pour l'analyse spécifique de divers composés d'imagerie. Comme sa période est très courte, les problèmes de surdose sont extrêmement rares et auto-limitatifs. De façon générale, avant que l'on puisse administrer un traitement de quelque sorte que ce soit en cas de surdose, l'activité aura déjà considérablement diminué.

Le carbone 14, en raison de sa longue durée de vie, cause des problèmes additionnels. Son énergie bêta est assez faible cependant, et les particules bêta ne dépassent généralement pas la couche de cellules mortes de la peau. Environ 10 % du débit de dose en surface atteint l'épithélium germinatif de la peau. Cliniquement, on l'utilise pour marquer une grande variété de composés biologiques dans les laboratoires de biochimie et, en médecine nucléaire, on l'utilise pour divers tests d'absorption du lactose. Si le carbone 14 est absorbé dans le corps soit par absorption orale ou par pénétration directe dans la peau, le traitement se limite généralement à la zone d'entrée (excision). Cet agent est principalement utilisé comme marqueur en laboratoire et est un produit de la filière CANDU. Il est plutôt rare que de grandes quantités de carbone 14 posent des risques pour la santé.

Césium	Césium 137
Période :	30 ans
Principales émissions :	510 keV - bêta et 662 keV - gamma
Voies d'absorption :	poumons, peau, voie gastro-intestinale
Principaux sites de rétention :	tous les tissus, particulièrement les muscles
Thérapie :	diminuer l'absorption

Le césium est un métal alcalin. Le césium 137, dont la période est de 30 ans et le césium 134, dont la période est de 2,1 ans, sont les isotopes les plus susceptibles d'être rencontrés dans les milieux de travail. Le césium 137 se désintègre en émettant des particules bêta de 510 keV, et des particules gamma de 662 keV sont émises par ses produits de filiation.

Le césium 134 se désintègre en émettant des particules bêta dont l'énergie va de 90 à 1450 keV- la plus abondante étant de 650 keV. Il émet également des rayons gamma dont l'énergie se situe entre 480 et 1370 keV.

Le césium 137 est un produit de fission important dégagé par le combustible d'uranium ou de plutonium. Il a fait l'objet de nombreuses études radiobiologiques et métaboliques parce qu'il est l'un des produits de fission ayant la plus longue période physique qui existent dans l'environnement et dans les milieux habités par l'homme en raison des importantes retombées atmosphériques associées aux essais d'armes nucléaires. Il fut l'un des principaux contaminants lors de l'accident de Tchernobyl. Dans l'industie, il est employé comme source scellée de rayons gamma pour les jauges d'épaisseur et, en médecine et en recherche, il est utilisé comme source scellée en radiothérapie contre le cancer; il n'est que très rarement utilisé comme marqueur.

Le césium a des propriétés chimiques et biochimiques très semblables à celles du potassium et, par conséquent, sa distribution biologique est semblable. Après l'ingestion, le césium est rapidement absorbé; 10 % de la quantité absorbée est excrétée par les reins au cours des deux premiers jours. La période biologique subséquente est d'environ 109 jours. La période biologique, cependant, est généralement beaucoup plus courte chez les enfants et chez les femmes [Ll66].

Le moyen le plus efficace pour éliminer le césium radioactif du corps d'une personne est de lui administrer oralement du cyanoferrate ferrique (II), appelé communément Bleu de Prusse. Bien que cette substance ne soit pas une drogue approuvée disponible en Amérique du Nord, on estime qu'elle est relativement inoffensive et qu'elle est bien tolérée par l'homme [NC77]. Le bleu de Prusse n'est

pas absorbé par l'intestin et il établit une liaison entre les ions césium qui suivent habituellement un cycle passant par la voie gastro-intestinale, de sorte que le césium n'est pas réabsorbé. La période biologique au cours d'un tel traitement est réduite à environ un tiers de sa valeur habituelle et la charge totale dans le corps est donc considérablement réduite. Récemment, l'hémodialyse a été proposée pour extraire rapidement le césium radioactif de la circulation sanguine, mais elle se limitera probablement aux cas d'exposition aiguë [Ve95].

Cobalt	Cobalt 60
Période :	5,3 ans
Principales émissions :	313 keV - bêta, 1170 et 1330 keV - gamma
Voies d'absorption :	inhalation et absorption GI; absorption faible en cas de contact direct avec la peau
Sites principaux de rétention :	foie et autres tissus
Thérapie :	DTPA par intraveineuse

Les radioisotopes du cobalt les plus communs sont le cobalt 60, le cobalt 58 et le cobalt 57. Le cobalt 60 a une période physique de 5,3 ans et se désintègre en émettant des particules bêta de 310 keV et des rayons gamma de 1170 et 1330 keV. Les autres isotopes ont des périodes physiques plus courtes; celle du cobalt 57 est de 271 jours et celle du cobalt 58 est de 71 jours. Ces deux isotopes se désintègrent en émettant des particules gamma.

Les sources scellées de cobalt 60 sont employées en radiothérapie et en radiographie industrielle. On les utilise dans l'industrie comme jauges d'épaisseur, sources d'étalonnage et marqueurs. Dans les applications de médecine nucléaire, les isotopes du cobalt 57 sont utilisés essentiellement pour le marquage de la vitamine B12 dans les essais de Schillings et comme source d'étalonnage en remplacement du « technétium » .

L'exposition des humains se produit généralement par inhalation de particules qui sont mieux évaluées par comptage du corps entier que par la mesure de l'activité du cobalt dans l'urine. Après une exposition par inhalation, on observe une excrétion rapide dans l'urine, 80 % de la substance étant éliminée pendant une période biologique d'un jour ou moins.

Il n'existe aucun cas d'exposition humaine au rayonnement résultant d'une exposition interne au cobalt. Théoriquement, un lavage de l'estomac peut aider en cas d'ingestion et le rôle des drogues de chélation est mal connu.

Or	Or 198
Période :	2,7 jours
Principales émissions :	970 keV - bêta et 412 keV - gamma
Voies d'absorption :	absorption GI (10 %), pénétration limitée dans la peau, inhalation inconnue
Sites principaux de rétention :	foie, reins, système réticulo-endothélial

Thérapie : dimercaprol et pénicillamine aident à faciliter l'excrétion par l'urine

L'or 198 est le seul radioisotope de l'or qui est couramment utilisé. Il est utilisé dans les thérapies médicales, dans la recherche en biologie, et parfois comme source d'étalonnage. L'or 198 émet des particules bêta de 970 keV des rayons gamma de 412 keV. Sa période physique est de 2,7 jours. À des fins médicales, l'or 198 a été principalement utilisé sous forme colloïdale pour la gestion palliative des épanchements pleuraux malins, des épanchements abdominaux et péricardiens. Environ 90 % de la dose de rayonnement provient des particules bêta qui ont un pouvoir de pénétration moyen d'environ 0,4 millimètres et une pénétration maximale de moins de 4 millimètres dans les tissus. Lorsque de l'or 198 non colloïdal est absorbé par la bouche, environ 10 % de cet or est absorbé dans le sang et un quart de cette quantité se loge dans le foie et les reins. Lorsque de l'or 198 colloïdal est injecté par intraveineuse, sa période efficace est de 2,6 jours, la majeure partie de cet or s'accumule dans les cellules du système réticulo-endothélial du foie, de la rate et de la moelle osseuse. L'or 198 colloïdal est également administré par instillation intra-articulaire.

Il n'existe aucune thérapie connue pour l'absorption interne d'or 198 colloïdal une fois que les particules sont phagocytées par les cellules réticulo-endothéliales. La défaillance subséquente possible de la moelle osseuse peut être traitée par des transfusions de composants sanguins adéquats. Dans le cas de l'or ionique, on peut essayer le dimercaprol ou la pénicillamine, bien que la période efficace courte de l'or 198 laisse supposer que la réduction de la dose serait limitée.

Indium Indium 111

Période : 2,38 jours

Principales émissions : 171 et 245 keV - gamma

Sites principaux de rétention : Reins, rate

Thérapie : DTPA

L'indium 111 est couramment utilisé en médecine pour marquer divers produits biologiques, y compris les lymphocytes, la somatostatine et le DTPA à titre de substance d'imagerie CSF. Sa période physique est de 67 heures et il se désintègre en émettant des rayons gamma de 171 et de 245 keV. La plupart des composés renfermant de l'indium sont déjà associés au DTPA et seront rapidement excrétés par l'urine. En cas de surexposition présumée à l'indium, un traitement par intraveineuse à l'EDTA ou au DTPA peut aider à éliminer l'ion métallique.

Iode	Iode 131
Période :	8,04 jours
Principales émissions :	610 keV - bêta, 364 keV - gamma
Voies d'absorption :	poumons, voie gastro-intestinale et peau
Sites principaux de rétention :	thyroïde et excrétions urinaire
Thérapie :	iode non radioactif pour faire concurrence à l'iode radioactif

Il existe plus de 20 isotopes radioactifs de l'iode. On trouve certains radio-isotopes très importants dans l'industrie et en médecine. L'iode 131 est le radioisotope le plus important qui contribue à l'exposition interne après un accident impliquant un réacteur, des essais d'armes nucléaires ou des incidents impliquant des produits de fission de date récente [Ro66]. Cependant, les radioisotopes à courte période, soit l'iode 132, l'iode 133, l'iode 134, l'iode 135 dont les périodes varient de 52 minutes à 6,7 heures, peuvent constituer une partie importante de la dose si la personne exposée se trouve à proximité d'un dégagement récent de produits de fission jeunes.

L'iode 131 doit faire l'objet d'autres études puisqu'on présume que des quantités importantes d'iode radioactif volatil seraient dégagées par un hypothétique accident de réacteur CANDU et que sa période est relativement longue comparée à celles des radioisotopes de l'iode de courte période. L'exposition peut suivre principalement deux voies, soit l'inhalation d'iode radioactif dans un panache de radioactivité dégagé par le réacteur, et l'ingestion d'aliments qui ont été contaminés par les retombées du panache [GM95a]. Lorsqu'une contamination environnementale importante se produit, la contamination de l'approvisionnement en lait provenant du bétail qui va paître dans des pâturages contaminés peut constituer un problème important. Dans de tels cas, le médecin peut être appelé pour conseiller les patients sur les dangers dus à l'ingestion de lait contaminé après un accident de réacteur. De façon générale, la période efficace de l'iode 131 dans la végétation est d'environ cinq jours [FR64]. Des niveaux de référence d'urgence ont été proposés pour déterminer à quel moment les mesures du compteur devraient commencer à être indiquées. Ces niveaux sont de 925 Bq/l (niveau maximal dans le lait) et de 5550 Bq/m^2 dans un pâturage [Br69].

La période physique de l'iode 131 est de 8,1 jours et sa période efficace chez l'humain est d'environ 7,6 jours. Il se désintègre en émettant des particules bêta, dont la majorité ont une énergie de 610 keV. Dans les utilisations en laboratoire de l'iode 131, les petites expositions sont généralement imputables à l'inhalation, mais des cas d'ingestion par pipettage en bouche et d'absorption par la peau ont également été signalés.

L'iode 125 a une période physique de 60 jours et se désintègre en émettant des rayons gamma dont l'énergie se situe dans l'intervalle de 27 à 36 keV. On l'utilise pour le marquage et il est volatil.

L'iode radioactif est rapidement et efficacement absorbé par la thyroïde chez la plupart des individus normaux. D'autres sources d'incorporation importantes se produisent dans les glandes salivaires, la muqueuse de l'estomac et les voies génito-urinaires. Chez un individu normal, environ 10 à 30 % de l'iode s'accumule dans la thyroïde 24 heures après l'exposition. Les applications médicales sont importantes pour l'évaluation de l'hypothyroïdie et de l'hyperthyroïdie. L'iode 131 est souvent

administré à des fins thérapeutiques pour traiter l'hypothyroïdie dans un certain nombre d'états pathologiques.

La détection externe d'une contamination importante à l'iode 131 est facilement réalisable au moyen d'une sonde d'incorporation que l'on trouve dans la plupart des départements de médecine nucléaire des hôpitaux. Tout individu ayant été exposé accidentellement en milieu de travail à l'iode radioactif peu importe la voie d'administration, ou à l'un de ces isotopes, devrait recevoir immédiatement des composés d'iode stable qui contiennent environ 100 mg d'iode stable. L'incorporation d'iode 131 peut être efficacement bloquée si de l'iodure de potassium est administré rapidement après l'exposition accidentelle. On peut prendre des comprimés ou 5 à 6 gouttes d'une solution sursaturée d'iodure de potassium (solution de Lugol) pour fournir à l'organisme une source d'iode stable. L'administration quotidienne d'iodure de potassium ou d'un autre agent peut être nécessaire pendant plusieurs jours, selon le cas.

Les individus exposés à des concentrations élevées d'iode radioactive devront être suivis, car ils pourraient développer par la suite une hypothyroïdie qui peut mettre jusqu'à deux ans à apparaître. Cependant, habituellement, on observera chez le patient une réduction des niveaux d'hormones environ 6 semaines après l'accident. Il y a également un risque accru de développer une cancer de la thyroïde imputable au rayonnement plusieurs années plus tard.

Iridium Iridium 192

Période : 74 jours

Principales émissions : 536 et 672 keV - bêta, 316 et rayonnement gamma de 468 keV

L'iridium 192 est produit par bombardement neutronique dans un réacteur et est utilisé en radiographie industrielle ou parfois dans les thérapies médicales comme source de curiethérapie. Sa période physique de 74 jours est relativement courte, et il se désintègre en émettant diverses particules. Les principales émissions sont des particules bêta de 536 et de 672 keV et des photons gamma de 316 et de 468 keV.

Nickel Nickel 63

Période : 96 ans

Principales émissions : 66 keV - bêta

Sites principaux de rétention : poumons et tissus du SNC

Le nickel 63 est produit par les réacteurs et est couramment utilisé comme source feuille ou en chromatographie en phase gazeuse. Le nickel émet prinicpalement des particules bêta de 66 keV. Sa période physique est de 96 ans. Le nickel est modérément toxique et on le soupçonne d'être cancérigène. Il s'accumule dans les tissus pulmonaires ainsi que dans le système nerveux central. Le traitement en cas d'exposition présumée au nickel radioactif se limite aux traitements topiques. On ne sait que peu de choses sur le traitement systémique en cas de surexposition au nickel.

Phosphore Phosphore 32

Période : 14,2 jours

Principales émissions : 1710 keV - bêta

Voies d'absorption : poumons, voie gastro-intestinale et peau

Sites principaux de rétention : os et moelle osseuse

Thérapie : phosphate non radioactif, PTH, lavage gastrique, sulfite de cuivre administré par la bouche

Le premier isotope radioactif à avoir été produit par un cyclotron est le phosphore 32. La période physique du phosphore 32 est de 14,2 jours et il se désintègre en émettant des particule bêta de forte énergie allant jusqu'à 1710 keV. La particule bêta a une portée maximale de 7 millimètres dans les tissus. Comme le phosphore 32 n'émet que des particules bêta, il s'avère être d'une grande valeur dans les thérapies médicales.

Le phosphore est un élément essentiel des cellules vivantes et, dans le corps humain, il représente 1,1 % du poids corporel total. Les tissus à renouvellement cellulaire rapide montrent parfois un taux de rétention du phosphore plus élevé, car celui-ci s'accumule dans les protéines du noyau. Le phosphore 32 a une longue période biologique d'environ 257 jours pour le corps entier et de 1155 jours pour les os, ce qui fait que sa période efficace est à peu près la même que sa période physique, qui est de 14 jours.

Le phosphore 32 est principalement utilisé dans les thérapies médicales, l'industrie et la recherche en agriculture. Bien qu'il ait déjà été utilisé pour le diagnostic des tumeurs intra-oculaires, intra-crâniennes, de la peau et du sein, on ne l'emploie aujourd'hui que dans le traitement de la polycytémie *rubra vera* sous forme de solution de phosphate de sodium administré par intraveineuse et parfois sous la forme d'une substance anti-arthritique en cas d'ablation synoviale, administré par voie articulaire; on l'utilise également dans le traitement de l'épanchement pleural malin ou des ascites.

Des surdoses de phosphore 32 peuvent affecter d'abord la moelle osseuse et sont accompagnées de chutes caractéristiques des lignées de globules blancs et de globules rouges. La thérapie consiste à administrer par la bouche du phosphate non radioactif ainsi qu'un extrait parathyroïdien par injection intramusculaire toutes les six heures. Si la surdose est identifiée rapidement, un lavage gastrique au permanganate de potassium (1:5000) ou au peroxyde d'hydrogène à 3 % peut aider. Du sulfite de cuivre qui forme un phosphure de cuivre insoluble peut être administré oralement en doses de 0,25 g. De l'huile minérale ainsi que de l'hydroxyde d'aluminium peuvent également aider à éviter l'absorption gastro-intestinale.

Plutonium Plutonium 239

Période : 24 400 ans

Principales émissions : alpha (5,11, 5,16 MeV)

Voies d'absorption : inhalation

Sites principaux de rétention : poumons, ganglions lymphatiques, foie, os

Thérapie : DTPA

Le plutonium est un élément artificiel qui possède de nombreux isotopes, tous radioactifs. Le plutonium 238 et le plutonium 239 sont les plus fréquents dans les milieux de travail au Canada. Le plutonium 239 est utilisé dans certains pays comme combustible fissile dans les engins nucléaires explosifs et comme constituant du combustible nucléaire. La filière CANDU n'utilise pas de plutonium 239 pour la production d'énergie. Le plutonium 238 a également été utilisé comme source d'alimentation dans certaines applications, comme les satellites, les stimulateurs cardiaques

nucléaires, etc. Il est possible que l'on trouve dorénavant plus souvent du plutonium dans les instituts de recherche canadiens : on prévoit des recherches visant à tester la capacité de la filière CANDU à utiliser comme combustible un oxyde mixte composé de plutonium provenant d'armes nucléaires et d'uranium naturel. L'objectif est de trouver des moyens de réduire la disponibilité globale du plutonium militaire.

Le plutonium 239 est un émetteur alpha dont la période est de 24 400 ans. Il a la capacité de se fissionner lorsqu'il est bombardé par des neutrons. L'énergie des principales particules alpha est de 5,16 et 5,11 MeV. Le plutonium 238 est également un émetteur alpha dont la période est de 86 ans. L'énergie des principales particules alpha qu'il émet est de 5,46 et de 5,5 MeV.

Le plutonium possède une réactivité chimique élevée et peut être intégré à de nombreux produits chimiques dont les propriétés et la granulométrie diffèrent. Le dioxyde de plutonium est probablement le composé qui présente le plus d'intérêt, car il est utilisé comme combustible nucléaire. Même le comportement biologique du dioxyde de plutonium peut varier considérablement selon la composition exacte, la taille et la forme des particules. De façon générale, le plutonium n'est pas absorbé par la peau et son pouvoir de pénétration dans le système digestif est faible. L'inhalation est la voie principale des dépôts importants de plutonium. Le rayonnement alpha ne pénètre pas non plus la couche de cellules basales de la peau. L'exposition ne devient importante que lorsqu'il y a inhalation et que le plutonium est capable aérodynamiquement d'atteindre la région alvéolaire des poumons. Il y est retenu et irradie les poumons, ou il y est redistribué dans l'organisme par le système sanguin. Le plutonium « soluble » se dégage des poumons en un an ou deux et se loge par la suite dans le foie et dans les os. Le plutonium « insoluble » sera retenu plus longtemps et se déplace essentiellement vers les ganglions lymphatiques les plus proches.

Une absorption accidentelle de plutonium peut être traitée à l'aide d'agents chélateurs comme le DTPA. Les blessures contaminées sont traitées au mieux par chirurgie afin d'enlever les tissus adjacents aux blessures contaminées.

Polonium	Polonium 210
Période :	138 jours
Principales émissions :	alpha (5,8 MeV)
Voies d'absorption :	poumons, voie gastro-intestinale et peau
Sites principaux de rétention :	rate et reins
Thérapie :	dimercaprol

Le polonium 210 a été beaucoup utilisé dans la fabrication des armes nucléaires et a été employé plus tard brièvement dans des génératrices électriques thermiques et des satellites. La première communication par satellite était alimentée par une source de polonium 210. L'atmosphère contient normalement du polonium, car c'est l'un des produits de la désintégration du radium 226, élément présent naturellement dans la croûte terrestre. Les quantités de polonium que l'on retrouve dans l'atmosphère se sont accrues à cause d'activités humaines comme la combustion de combustibles fossiles, les essais d'armes nucléaires et les désastres imputables au rayonnement. On a découvert que des cigarettes renferment du polonium 210 et que cela pourrait être une cause possible de cancer du poumon [Ma64]. Le polonium 210 est l'un des derniers produits radioactifs de la désintégration de

l'uranium et, par conséquent, il a été étudié de façon approfondie chez les travailleurs des mines d'uranium. Après des années d'exposition, environ 78 % de la charge corporelle se dépose dans le squelette, de même qu'une bonne partie dans les poumons, le foie et les tissus musculaires. Le polonium se désintègre en émettant des particules alpha et sa période est d'environ 138 jours. Sa période biologique est d'environ 40 jours. Les organes critiques sont la rate et les reins. Une absorption aiguë de polonium 210 peut résulter en une excrétion 20 fois plus grande dans les fèces que dans l'urine.

On propose le dimercaprol comme traitement; il devrait être administré par intra-musculaire. Ni le DTPA ni l'EDTA ne semblent être efficaces dans le traitement de la contamination interne au polonium [Fo58].

Radium	Radium 226
Période :	1600 ans
Principales émissions :	alpha (4,6 et 4,8 MeV), 186 keV gamma
Voies d'absorption :	poumons, voie gastro-intestinale et peau
Sites principaux de rétention :	os
Thérapie :	gluconate de calcium et chlorure d'ammonium

Le radium 226 est un élément radioactif naturel et l'un des produits de filiation de l'uranium 238. Sa période physique est de 1620 ans. Il se désintègre pour former le radon 222 en émettant des particules alpha dont l'énergie est de 4,56 MeV et de 4,78 MeV).

Le radium 226 était utilisé principalement en médecine pour le traitement du cancer; on insère des sources aiguilles encapsulées directement dans la tumeur au moyen d'applicateurs moulés qui tiennent la source en place. Auparavant, on utilisait le radium 226 dans les peintures luminescentes.

Après une ingestion orale, environ 30 % du radium est absorbé. Cependant, la majeure partie de l'activité est excrétée dans les fèces, un faible pourcentage étant excrété dans l'urine. Le radium qui subsiste dans le corps se dépose presque totalement dans le squelette. Des études de suivi indiquent que près de 300 personnes ayant peint des cadrans lumineux au radium et qui avaient l'habitude d'affiler leur pinceau avec la langue ont développé des tumeurs malignes, telles que des ostéo-sarcomes, des sarcomes fibreux, des carcinomes des sinus paranasaux et des mastoïdes, et plusieurs ont souffert de leucémie et d'anémie aplastique. Les doses de rayonnement au squelette inférieures à 1000 rads n'ont pas eu d'effets radiobiologiques détectables sur le plan clinique pendant un suivi étendu sur 40 à 50 ans ou plus [Ha69, Ev74].

Un lavage d'estomac effectué immédiatement à l'aide d'une solution de sulfate de magnésium est recommandé pour les patients qui viennent d'ingérer du radium.

Radon	Radon 222
Période :	3,8 jours
Principales émissions :	alpha (5,4 MeV) et gamma (510 keV)

Voies d'absorption : inhalation
Sites principaux de rétention : poumons
Thérapie : -

Le radon 222 est un gaz radioactif naturel incolore, inodore qui est produit par la désintégration radioactive du radium 226. Il pénètre dans les habitations par les fissures des murs. Lorsque la ventilation est inadéquate, le radon a tendance à s'accumuler. Sa concentration est plus grande dans les sous-sols. La concentration de radon varie de façon importante en fonction du temps, et augmente durant les mois d'hiver lorsque la ventilation est moins efficace. L'exposition des humains au radon varie considérablement.

Le radon et ses produits de filiation se désintègrent en émettant des particules alpha. Seule l'irradiation interne est importante. Sous forme de gaz, le radon est inhalé et les tissus des voies respiratoires sont souvent irradiées de manière préférentielle car la portée des particules alpha est courte.

Il a été démontré que le radon est cancérigène dans des études portant sur les animaux. Les travailleurs des mines d'uranium qui sont exposés aux produits de filiation du radon dans leur travail présentent des risques accrus de cancer du poumon, après ajustement des autres facteurs de risque causant le cancer du poumon. Les données sur les travailleurs des mines constituent la base pour prévoir les risques associés au cancer du poumon imputables à une exposition au radon domestique. Cependant, les études sur l'exposition au radon dans les maisons n'ont pas démontré clairement qu'il existe un risque accru de cancer du poumon.

L'exposition conjuguée à la fumée du tabac et à des niveaux élevés de radon donne lieu à des effets plus qu'additifs pour ce qui est du cancer du poumon. Une analyse conjointe des études sur les travailleurs des mines d'uranium indique que le risque relatif est trois fois plus élevé chez les fumeurs que chez les non-fumeurs [Lu94]. Le fait d'arrêter de fumer réduit considérablement les risques de cancer du poumon.

Le gouvernement fédéral a établi des lignes directrices pour l'exposition au radon dans les maisons; au-dessus de 800 Bq/m^3, aucune mesure correctrice n'est recommandée. Il existe plusieurs méthodes pour réduire le niveau de radon dans une habitation.

Strontium Strontium 90

Période : 29,1 ans
Principales émissions : 540 keV - bêta
Voies d'absorption : poumons, voie gastro-intestinale et peau
Sites principaux de rétention : os
Thérapie : lactate de strontium non radioactif, gluconate de calcium oral ou par intraveineuse, acidification au chlorure d'ammonium. Du sulfate de baryum, de l'alginate de calcium et du phosphate d'aluminium sont administrés oralement pour réduire l'absorption. Le

rhodizonate de potassium est utile pour les plaies ouvertes.

Le strontium 90 est l'un des produits de fission de l'uranium. Plusieurs de ses radioisotopes s'avèrent utiles, notamment le strontium 90, dont la période physique longue est de 28 ans; il se désintègre en émettant des particules bêta de 540 keV. On obtient ainsi l'yttrium 90 qui émet également des particules bêta de 2250 keV. La période physique du strontium 89 est de 51 jours et il se désintègre en émettant des particules bêta de 1460 keV ainsi qu'un faible pourcentage de rayons gamma de 910 keV.

Le strontium 90 a été utilisé dans le traitement des lésions cutanées dont l'épaisseur n'est que de quelques millimètres. Les sources ont été utilisées en fonderie dans des jauges d'épaisseur qui servent à mesurer la rétrodiffusion du rayonnement bêta émis par des feuilles de papier, du caoutchouc ou du métal. Le strontium 90 est parfois utilisé en outre dans les applications de cadrans lumineux. De grandes quantités sont parfois utilisées comme sources électriques thermales dans les bouées et dans des appareils semblables où des sources d'alimentation indépendantes sont requises. Le strontium 85 a été utilisé dans le passé pour la recherche en médecine et en agriculture. En médecine nucléaire, il a été utilisé pour l'évaluation initiale du métabolisme du strontium et constitue l'une des premières matières employées pour la scintigraphie osseuse.

Le strontium 89 a connu récemment un regain de popularité en thérapie intraveineuse pour les métastases osseuses douloureuses. La période biologique du strontium chez l'homme est de moins de 250 jours après une ingestion orale unique. La période biologique suite à une injection par intraveineuse est plus longue (environ 843 jours). En cas d'inhalation, la période biologique est de 500 jours. La quantité de strontium incorporée par accident dans le corps humain peut être déterminée par une seule mesure du strontium excrété dans l'urine dans les 24 heures qui suivent l'absorption [Sa65].

Administré immédiatement après l'ingestion, le phosphate d'aluminum peut réduire l'absorption de près de 85 % et l'on estime qu'il s'agit là du meilleur médicament dans cette situation. Le sulfate de baryum est un autre choix sans risque qui peut également permettre une réduction importante de l'absorption intestinale. Après une intraveineuse ou une absorption par inhalation de strontium radioactif, plusieurs composés de strontium stable peuvent être utilisés pour diluer l'incorporation de strontium radioactif, mais ce dernier doit être bien sûr administré peu de temps après l'exposition.

Technétium	Tc 99 m
Période :	6,02 heures
Principales émissions :	140 keV - gamma
Voies d'absorption :	poumons, voie gastro-intestinale et peau
Sites principaux de rétention :	thyroïde, estomac, voies GU
Thérapie :	perchlorate de potassium pris oralement

Le technétium possède plusieurs isotopes radioactifs mais le technétium 99 m (métastable) est de loin le plus courant, particulièrement en médecine nucléaire. On l'a choisi et utilisé, car il convient à l'imagerie de diagnostic en raison du fait qu'il émet des rayons gamma souhaitables de 140 keV et de sa courte période physique, qui est de 6 heures. Le technétium 99 m provient de la désintégration du

molybdène 99 dont la période physique est de 67 heures. Le technétium sous forme de pertechnétate a une période biologique très courte d'un jour seulement pour le corps entier, de 20 jours dans les reins et de jusqu'à 30 jours dans le foie. Le pertechnétate se concentre activement dans la glande thyroïde, les glandes salivaires, l'estomac et les voies génito-urinaires. Cependant, en médecine nucléaire, la majorité des applications qui utilisent le technétium dépendent souvent de sa capacité à former des composés complexes qui déterminent sa biodistribution. Par exemple, lorsque le technétium est lié au soufre colloïdal, il agit comme un agent de scintigraphie pour le foie ou la rate, mais lorsqu'il est lié au sestamibi, on l'utilise comme préparation pour l'imagerie cardiaque. En raison de sa période courte et du fait qu'il n'émet pratiquement que des rayons gamma, il est peu probable que des patients soient surexposés accidentellement au technétium 99 m et aient besoin de suivre une thérapie. L'administration de perchlorate de potassium est efficace, car le perchlorate déplace partiellement les ions pertechnétate 99 m des sites de concentration dans la glande thyroïde, les glandes salivaires et l'estomac [An65]. Les expositions en milieu de travail sont presque entièrement externes.

Tritium (Hydrogène 3)	Hydrogène 3
Période :	12,3 ans
Principales émissions :	18 keV - bêta
Voies d'absorption:	poumons, voie gastro-intestinaleet peau (comme l'eau)
Sites principaux de rétention :	tous les tissus
Thérapie :	administration forcée de fluides, rarement l'hémodialyse

Le tritium est le seul isotope radioactif de l'hydrogène. Il se désintègre en émettant des particules bêta dont l'énergie maximale est de 18 keV. Sa période physique est de 12,3 ans. De petites quantités d'isotope sont habituellement présentes dans l'atmosphère et sont produites par les réactions du rayonnement cosmique et de l'azote. Les essais d'armes nucléaires ont augmenté la présence de tritium dans l'environnement.

Même si le tritium n'a pas été utilisé beaucoup en médecine clinique, il a servi beaucoup à effectuer des mesures des fluides corporels totaux et dans le marquage *in vivo* des cellules proliférantes par injection de thymidine marquée au tritium. L'utilisation la plus importante est probablement l'utilisation clinique dans le marquage et les essais biologiques de petites quantités de composés biologiques dans les essais de radio-immunologie. Dans l'industrie, le tritium est utilisé comme matériau cible dans les accélérateurs en vue de produire et de ralentir des neutrons rapides. Il est employé occasionnellement comme source de rayonnement dans les jauges d'épaisseur et est parfois utilisé commercialement dans les peintures luminescentes. Le tritium est l'isotope qui pose le plus grand risque interne dans les centrales nucléaires de type CANDU, et constitue 30 % de la dose de rayonnement reçue par le personnel. Il est présent dans le cycle d'exploitation du réacteur à la fois dans le circuit du modérateur et les circuits du caloporteur qui contiennent de l'eau lourde.

Bien que les particules bêta de faible énergie du tritium ne peuvent pénétrer dans la couche extérieure de la peau intacte, l'eau tritié, sous forme de vapeur d'eau (HTO), peut pénétrer dans le corps par les poumons, les viscères et la peau, et se disperser rapidement dans l'ensemble du corps. Le contrôle radiologique nécessite la surveillance périodique des travailleurs en effectuant des mesures du tritium dans l'urine. La contamination au tritium des surfaces, y compris la peau, est très difficile à mesurer

à cause de la faible énergie des particules bêta. Cependant, les effets sur la santé liés à une dose unique de tritium ne sont pas précisés dans la documentation.

Bien que la période physique du tritium soit de 12,3 ans, sa période biologique est de 10 à 12 jours. Dès que l'on constate qu'une exposition aiguë a eu lieu chez une personne, il faut faire uriner la personne immédiatement et conserver l'échantillon à des fins de contrôle. Toutes les matières évacuées par la suite devront faire l'objet d'un contrôle pour déterminer la présence de tritium. Après une exposition aiguë unique, une concentration maximale de tritium dans l'urine de 37 MBq/l (1 mCi/l) est à peu près équivalente à une dose au corps entier d'environ 31 mSv (3100 mrem) sans traitement. Le traitement est une administration de fluides jusqu'à la limite tolérée par la personne afin de diluer le tritium et d'augmenter la diurèse. Avec 3 ou 4 litres par jour, on peut envisager de réduire la période de 50 % [GM95].

Uranium Uranium-238

Période : $4{,}5 \times 10^9$ ans

Principales émissions : alpha, bêta, gamma

Voies d'absorption : poumons, voie gastro-intestinale et peau, yeux, blessures

Sites principaux de rétention : skelette, poumon, (le rein est l'organe critique pour la toxicité chimique)

Thérapie : réduire l'absorption, stimuler l'excrétion

L'uranium se trouve seulement sour forme radioactive. L'uranium naturel est un mélange d'U-238 (99,3%), d'U-235 (0,7%), et d'U-234 (0,006%). L'U-238 est le premier élément de la famille radioactive uranium/radium, alors que l'U-235 est le premier de la famille uranium/actinium. Les isotopes de l'uranium naturel ont des périodes extrêmement longues et leurs produits de filiation émettent des rayonnments alpha, bêta, et gamma. Chacun des isotopes de l'uranium est sujet à la fission spontanée, à des taux très faibles. Parmi les produits de filiation, on trouve le radon-222 et le radon-219 qui sont présents dans l'air des mines d'uranium. Les produits de filiation du radon se fixent sur les aérosols et constituent un risque radiologique.

Les travailleurs rencontrent différents composés de l'uranium au cours des diverses phases industrielles: extraction, concentration, raffinage, conversion et fabrication du combustible. Des détails sur les sources d'exposition et la surveillance radiologique des travailleurs de l'uranium peuvent être consultés dans [AC98].

L'uranium peut être considéré comme un risque chimique ou radiologique, selon sa composition isotopique et la facilité avec laquelle il se diffuse dans le corps. C'est la quantité totale d'uranium métal absorbé qui détermine la toxicité de l'uranium naturel. Puisque la plus grande partie de l'uranium est excretée à travers les reins, ce sont les reins qui indiqueront les premiers signes cliniques, par exemple, la protéinurie. L'organe critique pour les formes les moins solubles de l'uranium , particuliérement s'il est enrichi en U-235, est probablement le skelette ou, en cas

d'inhalation, le poumon. Il est conseillé aux lecteurs de consulter des experts lorsqu'il faut estimer un rique professionel associé à l'exposition à l'uranium.

Des mesures répétées de sécrétion urinaire sont recommandées pour évaluer les incorporations importantes résultants d'une exposition unique, particulièrement lorsque la solubilité du composé est connue. Les comptages anthroporadiométriques du thorax sont la meilleure méthode pour estimer la charge au poumon de composés d'uranium insolubles.

Le traitement des incorporations accidentelles d'uranium vise à réduire l'absorption et accélérer l'excrétion.

SOURCES D'INFORMATION LOCALES, NATIONALES ET INTERNATIONALES

Unité de traumatologie

L'unité de traumatologie du Toronto Hospital possède l'équipement nécessaire pour traiter des victimes d'accidents imputables au rayonnement survenus dans des installations nucléaires; le numéro de téléphone à composer est le (416) 603-5800, poste 5098.

Santé Canada

Santé Canada produit périodiquement des rapports sur la radioactivité environnementale au Canada et sur l'exposition au rayonnement en milieu de travail. On peut obtenir ces rapports en écrivant à l'adresse suivante, ou en consultant le site internet suivant: http://www/datahpb/dataehd/english/catalog/rpb_pubs/index.htm. Les demandes de renseignements sur des sujets particuliers de radioprotection (essais biologiques, comptage du corps entier, analyse des chromosomes, expositions en milieu de travail, effets sur la santé, rayons X, rayonnements non ionisants) peuvent être adressées au Bureau de la radioprotection, 775, chemin Brookfield, Ottawa (Ontario) K1A 1C1 au (613) 954-6647.

Commission de contrôle de l'énergie atomique

La Commission de contrôle de l'énergie atomique publie des documents liés à ses activités de réglementation dans l'industrie du nucléaire et à l'utilisation des radio-isotopes. On peut obtenir ces documents sans frais auprès du Bureau d'information publique de la Commission de contrôle de l'énergie atomique, C.P. 1046, Ottawa (Ontario) K1P 5S9 au (613) 995-5894 ou au (800) 668-5284. En cas d'urgence, le numéro de téléphone de l'agent de service est le (613) 995-0479.

Fichier dosimétrique national

Le Fichier dosimétrique national (FDN) tient des registres de dose pour tous les travailleurs sous rayonnements au Canada. Le FDN publie régulièrement de l'information sur l'exposition au rayonnement en milieu de travail. Un individu peut également faire une demande pour obtenir un exemplaire de son registre de dose en composant le (613) 954-6660.

National Radiological Protection Board (NRPB)

Le National Radiological Protection Board du Royaume-Uni produit de nombreux rapports sur la sûreté. Un catalogue peut être obtenu à l'adresse suivante : NRPB, Chilton, Didcot, Oxon, OX11 0RQ, United Kingdom.

National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP)

Le National Council on Radiation Protection and Measurements est un organisme sans but lucratif qui diffuse de l'information sur la protection contre le rayonnement et sur les mesures des rayonnements.

Les publications du NCRP sont diffusées par le bureau des publications du NCRP à l'adresse suivante : 7910 Woodmount Avenue, Suite 800, Bethesda, MD, USA, 20814-3095.

Commission internationale de protection radiologique

La Commission internationale de protection radiologique est un organisme international qui recommande des normes de radioprotection. Ces recommandations sont publiées dans les Annales de la CIPR par Pergammon Press, Headington Hill Hall, Oxford, OX3 OBW, United Kingdom.

Agence internationale de l'énergie atomique

L'Agence internationale de l'énergie atomique produit de nombreux rapports sur les utilisations pacifiques de la technologie nucléaire. On peut se procurer les publications de l'AIEA auprès de la Division des Publications, Agence internationale de l'énergie atomique, Wagramerstrasse 5, C.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche ou en écrivant à Renouf Books, 1294, chemin Algoma, Gloucester (Ontario) K1B 3W8 au (613) 741-4333.

Comité scientifique des Nations Unies sur les effets des rayonnements ionisants

Le Comité scientifique des Nations Unies sur les effets des rayonnements ionisants a été créé par l'Assemblée générale des Nations Unies en 1955. Il produit des rapports sur les sources et les effets des rayonnements. On peut se procurer ces documents en écrivant à Renouf Books, 1294, chemin Algoma, Gloucester (Ontario) K1B 3W8 au (613) 741-4333.

SITES WEB UTILES

http://www.sph.umich.edu/group/eih/UMSCHPS
C'est un excellent site à usages multiples, multi-services, mis au point par la section étudiante de la Health Physics Society de l'université du Michigan. Il contient beaucoup d'information et de nombreux liens avec des sites sur le rayonnement et la santé radiologique convenant au grand public, aux étudiants et aux spécialistes en radioprotection. Il contient aussi une liste de numéros de téléphone d'urgence.

http://radefx.bcm.tmc.edu/ionizing
Le Baylor College of Medicine a créé ce site consacré à la recherche sur les effets sur la santé du rayonnement. On y retrouve : la prévention des désastres; les effets sur la santé des armes nucléaires utilisées à Hiroshima et Nagasaki; les agences, commissions, divisions, instituts et organismes; des publications de recherche et des publications choisies.

http://www.dne.bnl.gov/CoN/index.html
Ce site contient une information complète sur tous les nucléides connus.

wysiwyg:cnf.68/http://www.ncf.carleton.ca/~cz725/cnf.htm
Ce site non officiel et entretenu par un particulier est l'oeuvre d'un physicien d'EACL. Il contient une liste des questions fréquemment posées au sujet de la production d'énergie d'origine nucléaire au Canada et comporte actuellement 38 pages.

http://www.nrc.gov/NRC/NUREGS/BR0217/br0217.html#_1_10
La US Nuclear Regulatory Commission est responsable de ce site qui contient de l'information utile sur les radioisotopes et leurs utilisations.

http://www.cannon.net/~gonyeau/nuclear/frmain01.htm
Ce site est appelé le « touriste virtuel » et procure de l'information sur la conception, la construction et le fonctionnement de centrales nucléaires à travers le monde.

Autres sites de référence

http://www.hc-sc.gc.ca/ehp/ehd/rpb
C'est le site du Bureau de la radioprotection de Santé Canada.

http://www.iaea.or.at/worldatom/
C'est le service d'information publique sur l'Internet de l'Agence internationale de l'énergie atomique.

http://www.irpa.at/
Site de l'Association internationale pour la protection contre les radiations.

http://www.tue.nl/sbd/irpa/icrp.htm
Site de la Commission internationale de protection radiologique.

http://cedr.lbl.gov/
Ce site constitue une source complète de données épidémiologiques sur les études des effets des rayonnements sur la santé, il est mis au point par le Department of Energy.

http://www.ncrp.com/
Site du National Council on Radiation Protection and Measurements

http://www.nrpb.org.uk
Site du National Radiological Protection Board du Royaume-Uni.

http://www.orau.gov/ehsd/reacts.htm
Site de formation du Radiation Emergency Assistance Centre, qui contient de l'information sur les ressources offertes, y compris de la formation, des conseils et un soutien sur place à l'échelle mondiale.

http://www.cdc.gov/
Site contenant la version complète de certains articles sur les effets des rayonnements ionisants sur la santé.

http://www.cjp.com/radres/html/links.htm#others
Ce site contient de nombreux liens vers d'autres sites et bases de données sur le rayonnement ionisant. Radiation Research est le journal officiel de la Radiation Research Society.

http://www.afrri.usuhs.mil/
Site du Armed Forces Radiology Research Institute

http://radnet.jpl.nasa.gov/
Ce site contient des données sur un test relatif aux effets du rayonnement pour la dose ionisante totale (DIT) et les effets d'un événement simple (EES).

http://www.aecb-ccea.gc.ca
C'est le site de la Commission de contrôle de l'énergie atomique.

http://www.aecl.ca
C'est le site d'Énergie atomique du Canada limitée.

RESSOURCES TECHNIQUES

Moyens d'essais biologiques et de prise en charge médicale des personnes

Analyse des chromosomes dicentriques

Procédés pour la collecte de sang pour l'analyse chromosomique

DTPA et bleu de Prusse

Moyen d'obtenir du DTPA et du bleu de Prusse

MOYENS D'ESSAIS BIOLOGIQUES ET DE PRISE EN CHARGE DES PERSONNES

Le Centre national de référence d'étalonnage pour les essais biologiques et le contrôle in vivo de Santé Canada a le moyen de faire des mesures sur des personnes pour évaluer leur risque d'exposition professionnelle ou environnementale à des dépôts internes de radionucléides.

MOYENS D'ESSAIS BIOLOGIQUES ET DE PRISE EN CHARGE DES PERSONNES[1] : TRANSURANIENS

Colombie-Britannique
Université de la Colombie-Britannique (3,4)[2]

Alberta
ARCT Chemtech, Calgary (3,4)

Saskatchewan
Université de Regina (3,4)

Manitoba
Manitoba Cancer Research and Treatment Foundation (2,3,4)
Fresh Water Institute du ministère des Pêches (3)

Ontario
Ontario Hydro - Tiverton (4)
Exploranium (1)
Bureau de la radioprotection (1)

1 Cette liste est tirée d'un rapport d'enquête préparé, en 1996, pour Santé Canada et intitulé : « Inventaire national des capacités d'intervention en cas d'urgence nucléaire ». Elle n'est pas exhaustive et seules les institutions ayant indiqué que leur réponse n'était pas confidentielle y sont mentionnées.

2 1 - Comptage sur tout le corps, 2 - thyroïde, 3 - urine/sang, 4 - selles

MOYENS D'ESSAIS BIOLOGIQUES ET DE PRISE EN CHARGE DES PERSONNES[1] : PRODUITS DE FISSION

Colombie-Britannique
Université Simon Fraser (1,2,3,4)[2]
Université de la Colombie-Britannique - TRIUMPH (2)
Université de la Colombie-Britannique (3,4)
Ministère de la santé de la Colombie-Britannique (3,4)

Saskatchewan
Université de Regina (2,3,4)
Université de la Saskatchewan (2)

Alberta
Calgary General Hospital (1,2,3,4)
Alberta Labour, Edmonton (2)
Université de Calgary (2)
South Alberta Institute of Technology (3)

Manitoba
Manitoba Cancer Research and Treatment Foundation (2,3,4)
Fresh Water Institute du ministère des Pêches (3)

Ontario
Université McMaster (1,2)
Ontario Hydro -Whitby (1,2,3,4)
Ontario Hydro - Tiverton (1,2)
Exploranium (1)
North Bay General Hospital (1,2,3,4)
Hôpital civique d'Ottawa (1,2,3)
Mount Sinai Hospital, Toronto (2,3,4)
Université de Toronto (2)
Bureau de la radioprotection (1,2,3,4)

Québec
Hôpital Laval (1,2,3,4)
Hydro Québec (1,2,3,4)
Université McGill (2)
Hôpital général de Montréal (2)
Hôpital Royal Victoria, Montréal (2)
Université Concordia (3,4)

Nouveau-Brunswick
Société d'énergie du Nouveau-Brunswick - Lepreau (1,2,3)
Société d'énergie du Nouveau-Brunswick - Frédéricton (3)
Hôpital régional de Saint John (2)
Queen Elizabeth Health Sciences Centre (2)

Nouvelle-Écosse
Aberdeen Hospital*, New Glasgow (1,2)
Valley Regional Hospital, Kentville (1)
Cape Breton Regional Hospital (1,2)
Western Regional Health Centre, Yarmouth (2,3)
Dr. Georges Dumont Hospital, Halifax (2)

Île-du-Prince-Édouard
Queen Elizabeth Hospital (1,2)

[1] Cette liste est tirée d'un rapport d'enquête préparé, en 1996, pour Santé Canada et intitulé : « Inventaire national des capacités d'intervention en cas d'urgence nucléaire ».Le ministère du travail de l'Ontario a été retiré de la liste susmentionnée, car il ne fournit plus ce service. Cette liste n'est pas exhaustive et seules les institutions ayant indiqué que leur réponse n'était

pas confidentielle y sont mentionnées. Dans de nombreuses institutions, la catégorie des « produits de fission » se limite à l'^{131}I.

[2] 1 - Comptage sur tout le corps, 2 - thyroïde, 3 - urine/sang, 4 - selles

MOYENS D'ESSAIS BIOLOGIQUES ET DE PRISE EN CHARGE DES PERSONNES[1] : STRONTIUM-90

Colombie-Britannique
Université Simon Fraser (3,4)[2]
Université de la Colombie-Britannique (3,4)
Ministère de la santé de la Colombie-Britannique (3,4)

Alberta
ARCT Chemtech (3,4))

Manitoba
Manitoba Cancer Research and Treatment Foundation (2,3,4)
Fresh Water Institute du ministère des Pêches (3)

Ontario
Ontario Hydro - Tiverton (3)
Université de Toronto (3)
Bureau de la radioprotection (3)

Québec
Hydro Québec (3)
Université McGill (3)
Université Concordia (3)

1 Cette liste est tirée d'un rapport d'enquête préparé, en 1996, pour Santé Canada et intitulé : « Inventaire national des capacités d'intervention en cas d'urgence nucléaire ». Elle n'est pas exhaustive et seules les institutions ayant indiqué que leur réponse n'était pas confidentielle y sont mentionnées.

2 1 - Comptage sur tout le corps, 2 - thyroïde, 3 - urine/sang, 4 - selles

MOYENS D'ESSAIS BIOLOGIQUES ET DE PRISE EN CHARGE DES PERSONNES[1] : CARBONE-14

Colombie-Britannique
Université Simon Fraser (3,4)[2]
Université de la Colombie-Britannique (3,4)

Saskatchewan
Université de Regina (3,4)

Alberta
ARCT Chemtech (3,4)
Université de Lethbridge (3)

Manitoba
Manitoba Cancer Research and Treatment Foundation (3,4)
Fresh Water Institute du ministère des Pêches (3)

Ontario
Université McMaster (3)
Ontario Hydro- Whitby (3)
Ontario Hydro-Tiverton (3)
Université de Toronto (3)
Bureau de la radioprotection (3)

Québec
Hôpital Laval (3)
Hydro Québec (3,4)
Université McGill (3)
Université Concordia (3)

Nouveau-Brunswick
Société d'énergie du Nouveau-Brunswick - Lepreau (3)

1 Cette liste est tirée d'un rapport d'enquête préparé, en 1996, pour Santé Canada et intitulé : « Inventaire national des capacités d'intervention en cas d'urgence nucléaire ». Elle n'est pas exhaustive et seules les institutions ayant indiqué que leur réponse n'était pas confidentielle y sont mentionnées.

2 1 - Comptage sur tout le corps, 2 - thyroïde, 3 - urine/sang, 4 - selles

MOYENS D'ESSAIS BIOLOGIQUES ET DE PRISE EN CHARGE DES PERSONNES[1] : TRITIUM

Colombie-Britannique Université Simon Fraser (3,4)[2] Université de la Colombie-Britannique - TRIUMPH (3) Université de la Colombie-Britannique (3,4) Alberta Université de Lethbridge (3) ARCT Chemtech (3,4) Ontario Université McMaster (3) Ontario Hydro -Whitby (3) Ontario Hydro - Tiverton (3) Mount Sinai Hospital, Toronto (3,4) Université de Toronto (3) Bureau de la radioprotection (3)	Québec Hôpital Laval (3) Hydro Québec (3,4) Université McGill (3) Université Concordia (3) Nouveau-Brunswick Société d'énergie du Nouveau-Brunswick - Lepreau (3) Société d'énergie du Nouveau-Brunswick - Frédéricton (3)

1 Cette liste est tirée d'un rapport d'enquête préparé, en 1996, pour Santé Canada et intitulé : « Inventaire des capacités d'intervention en cas d'urgence nucléaire ». Le ministère du travail de l'Ontario a été retiré de cette liste, car il ne fournit plus ce service. Cette liste n'est pas exhaustive et seules les institutions ayant indiqué que leur réponse n'était pas confidentielle y sont mentionnées.

2 1 - Comptage sur tout le corps, 2 - thyroïde, 3 - urine/sang, 4 - selles

MOYENS D'ESSAIS BIOLOGIQUES ET DE PRISE EN CHARGE DES PERSONNES[1] : URANIUM

Saskatchewan
Saskatchewan Research Council (3)[2]

Alberta
ARCT Chemtech (3,4)

Ontario
Exploranium (1)
Université de Toronto (3,4)
Bureau de la radioprotection (3,4)

1 Cette liste est tirée d'un rapport d'enquête préparé, en 1996, pour Santé Canada et intitulé : « Inventaire national des capacités d'intervention en cas d'urgence nucléaire ». Le ministère du travail de l'Ontario en a été retiré, car il ne fournit plus ce service. Elle n'est pas exhaustive et seules les institutions ayant indiqué que leur réponse n'était pas confidentielle y sont mentionnées.

2 1 - Comptage sur tout le corps, 2 - thyroïde, 3 - urine/sang, 4 - selles

BLEU DE PRUSSE ET DTPA

Au Canada, l'utilisation du bleu de Prusse (ferrocyanure ferrique) n'est pas autorisée pour les êtres humains. Il est disponible commercialement, en qualité non pharmaceutique, pour l'utilisation dans les laboratoires. Après y avoir été autorisé par le Programme de médicaments d'urgence de Santé Canada, on peut se procurer du bleu de Prusse de qualité pharmaceutique directement chez le fabricant, HEYL, en Allemagne. On peut aussi se le procurer, de la même manière, auprès du distributeur pour les États-Unis, RMC Medical. La procédure à suivre est énoncée ci-après. La posologie typique pour le bleu de Prusse est de 1 g (d.i.t.) pendant plusieurs jours, par voie orale, dans 100 - 200 ml d'eau.

La vente du DTPA (pentacétate calcique et trisodique) comme agent chélateur n'est pas autorisée au Canada. Pour en commander, il faut suivre la même procédure que dans le cas du bleu de Prusse. On peut également se le procurer auprès de HEYL. La posologie typique est de 1 g de CaDPTA dans 500 ml de D/W à 5 %, par intraveineuse en 60 minutes, ou de 1 g dans 6 ml de D/W à 5 %, par intraveineuse lente (1 minute). On peut l'administrer de 1 à 5 fois par semaine, tant que l'excrétion de radionucléides se poursuit.

À cause du délai nécessaire pour obtenir ces médicaments auprès du fabricant, il peut être intéressant de rechercher des solutions de remplacement pour se les procurer au cas où ils ne se trouvent pas en stock au moment de l'accident. En cas de besoin immédiat, la Toronto Hospital Radiation Traum Unit, Énergie atomique du Canada limitée à Chalk River (seulement pour le DTPA) et le U.S. Radiation Emergency Assistance Centre/Training Site à Oak Ridge, Tennessee, (423- 576-3131), sont des sources d'approvisionnement possibles.

PROCÉDURE POUR COMMANDER DU BLEU DE PRUSSE OU DU DTPA

Pour commander du bleu de Prusse par l'intermédiaire du Programme de médicaments d'urgence (PMU), en cas de besoin urgent :

1. Envoyer un fax, téléphoner ou écrire au PMU pour faire une demande de médicaments pour traitement d'urgence.
   Programme de médicaments d'urgence
   Médicaments prescrits pour les humains
   Holland Cross, tour B, 3e étage
   1600, rue Scott
   Ottawa (Ontario) K1A 1B8

   Tél : (613) 941-2108 (de 08 : 30 à 16 : 30 HNE)
   Tél : (613) 941-3061 (après les heures d'ouverture)
   Fax : (613) 941-3194

2. L'autorisation peut être accordée. Le PMU avertit le fabricant par téléphone. Cette autorisation verbale est suivie d'une lettre d'autorisation envoyée au fabricant. Une copie de cette lettre est envoyée au médecin.

3. Les renseignements suivants doivent être fournis par le médecin lors de la demande du médicament :
   - nom et numéro de téléphone du médecin
   - adresse du bureau du médecin ou de la pharmacie de l'hôpital où le médicament doit être expédié.
   - nom du médicament et type de posologie
   - nom, adresse, numéro de téléphone et nom de la personne-ressource chez le fabricant :

     Dr Wolfgang Parr,
     Directeur général, service de distribution
     HEYL Chemisch-pharmazeutische Fabrik GmbH & Co. KG
     Goerzallee 253
     D-14167 Berlin (Zehlendorf)
     Allemagne
     Tél : (030) 8169611
     Fax : (030) 8174049

   - quantité totale de médicament commandée
   - posologie prévue
   - prescription médicale pour son utilisation
   - si ce médicament est conservé pour servir en cas d'urgence, il n'est pas nécessaire de donner le nom d'un patient, mais il faut le mentionner.

Note : En cas de première commande de médicament par une institution, le Programme de médicaments d'urgence peut autoriser la vente du médicament, bien qu'aucun nom de patient ne soit fourni au moment de la commande.

L'adresse du distributeur des produits HEYL aux États-Unis est la suivante : RMC Medical, 3021 Darnell Road, Philadelphia, PA 19154, É.-U. Tél : (215) 824-1300.

ANALYSE DES CHROMOSOMES DICENTRIQUES

Cette technique, dont l'usage peut coûter fort cher, n'est pas facilement accessible au Canada. Le Bureau de la radioprotection de Santé Canada l'exécute selon le protocole fourni ci-après. La trousse seule (pour un échantillon) coûte environ 500 $. Cette méthode est également offerte sur le marché par le Geoffrey Schofield Laboratory, Westlakes Science & Technology Park, Moor Row, Cumbria, CA24 3JZ, R.-U. et l'U.K. National Radiological Protection Board.

L'analyse des aberrations chromosomiques dans le sang périphérique humain est la norme actuelle pour l'évaluation des dommages causés aux chromosomes par une irradiation aiguë. L'estimation de la dose d'irradiation est fondée sur la fréquence de chromosomes dicentriques. Bien que la présence de chromosomes dicentriques soit une aberration facile à distinguer, cette aberration est instable et, par conséquent, peu utile pour quantifier les expositions chroniques ou celles qui ont eu lieu il y a longtemps. On peut prélever du sang pour évaluer une irradiation aiguë jusqu'à neuf mois après l'exposition. Pour l'heure, cette technique ne convient pas dans les cas d'irradiation par des doses au corps entier de moins de 150-200 mSv. Son utilité dans l'évaluation des irradiations par des doses à une partie du corps est également incertaine.

Il existe d'autres techniques pour évaluer les radiolésions, mais des courbes de référence standard n'ont pas encore été établies. L'analyse par fluorescence de l'hybridation *in situ* peut être utilisée pour détecter la translocation. La translocation est une aberration stable et peut potentiellement être utilisée pour évaluer les expositions à long terme. Le dosage dans une seule cellule mesure les dommages à l'ADN plus directement que l'analyse des chromosomes dicentriques. Cette technique mesure un effet important de l'irradiation sur les lymphocytes que l'on appelle l'apoptose, mais la période pendant laquelle les dommages sont mesurables est probablement limitée à quelques jours seulement.

MÉTHODES DE PRÉLÈVEMENT DU SANG POUR L'ANALYSE DES CHROMOSOMES

L'analyse des aberrations chromosomiques dans le sang périphérique humain est la norme actuelle pour évaluer les dommages causés aux chromosomes par la radioexposition. Cette épreuve dépend fortement de la capacité des cellules sanguines périphériques (lymphocytes T) d'être stimulées par un mitogène à amorcer la reproduction. Afin d'optimiser la récupération de cellules viables chez les patients irradiés et de réduire le plus possible la nécessité de répéter le prélèvement, il est très important que le sang soit prélevé et expédié selon le protocole.

Avant de prélever les échantillons, prière d'avertir le Bureau de la radioprotection, au numéro ci-après, de sorte qu'il puisse faire les préparatifs en prévision de l'arrivée et de la collecte de l'échantillon.

Tous les échantillons sanguins doivent être recueillis, dans des conditions stériles, dans de l'héparine sodique (au moins 30 ml par patient), et être agités doucement pendant 2 minutes pour assurer un bon mélange. En même temps, on doit recueillir autant d'information médicale que possible du patient, y compris sur les expositions connues à tout mutagène (c.-à-d., exposition pour radiodiagnostic, agents de chimiothérapie, fumée de cigarette). Les expositions pendant les deux dernières années sont d'une très grande importance puisqu'elles peuvent contribuer aux dommages cumulatifs évalués.

Emballer tous les échantillons de manière à les maintenir à la température ambiante et s'assurer que les échantillons ne gèlent pas pendant le transport (p. ex., poste aérienne). L'étiquetage sur l'emballage externe devrait préciser que les échantillons doivent être gardés à l'abri du gel pendant le transport.

En ce qui concerne les expéditions d'échantillons, utiliser les services de messagerie de nuit. Communiquer avec le Bureau pour confirmer l'envoi et fournir le numéro de suivi de la **lettre de transport**.

Pour obtenir les meilleurs résultats d'analyse, le sang doit être reçu dans les 24 heures suivant le prélèvement.

NOTA : La culture et l'analyse des échantillons à l'égard des aberrations chromosomiques nécessitent environ trois semaines. Si le patient avait déjà été reçu un traitement médical, tel que susmentionné, la culture des lymphocytes T peut être compromise, résultant en de faibles rendements et des résultats non concluants.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Diana Wilkinson, Ph.D
Bureau de la radioprotection
775, chemin Brookfield
Ottawa (Ont.) K1A 1C1
Tél. : 1- 613-941-8516
Téléc. : 1-613-941-1734
Courriel : d_wilkinson@hc-sc.gc.ca

OÙ PUIS-JE OBTENIR DE LA FORMATION?

Oak Ridge Institute for Science and Education

Pat Cooley
Registrar, REAC/TS
P.O. Box 117
Oak Ridge, TN 37831-0117
(423) 576-3131

Plusieurs cours sont offerts :

Comment réagir aux accidents dûs aux rayonnements : Ce cours met l'accent sur les aspects pratiques de la manipulation d'une victime contaminée en discutant de notions fondamentales sur les rayonnements, de la façon de les détecter et de les mesurer, de la façon de prévenir la propagation de la contamination, de la façon de réduire la dose d'irradiation de la victime et du personnel traitant, ainsi que du rôle du physicien médical/radiohygiéniste dans les soins à apporter aux victimes contaminées.

La santé au travail dans les installations nucléaires : Ce cours donne de l'information sur les principes scientifiques de base des rayonnements, la surveillance et les évaluations médicales, la gestion des blessures en cas d'urgence sur les lieux et les répercussions médicales des agents d'agression chimique, physique, biologique, social et psychologique sur la capacité de travailler.

La radioprotection dans les accidents dûs aux rayonnements : Les principaux sujets traités sont les pratiques d'urgence en cas d'irradiation et le rôle du radiohygiéniste dans un environnement médical.

La planification et les soins médicaux dans les accidents dûs aux rayonnements : Ce cours offre un niveau avancé d'information sur le diagnostic et le traitement de l'irradiation aigue d'une partie ou de la totalité du corps, la contamination interne et externe, les lésions combinées et les incidents faisant de multiples victimes de radiations ionisantes.

Harvard School of Public Health

Office of Continuing Education
Harvard School of Public Health
677 Huntington Ave.
Boston, MA
02115-6023
Tél. : 617-432-1171
Téléc. : 617-432-1969
Courriel : contedu@sph.harvard.edu
http://www.hsph.harvard.edu/CCPE/ccpe.html

Radioprotection dans le milieu du travail et dans l'environnement

(cours offert deux fois par année)

Les sujets traités pendant la session comprennent les sources, les unités, les concepts, les effets biologiques et les techniques de mesure des rayonnements, la dosimétrie interne et externe, la gestion et l'élimination des déchets peu radioactifs et les normes applicables.

National Radiological Protection Board

Training Centre
NRPB
Chilton, Didcot
Oxon OX11 0RQ
Royaume-Uni
Tél. : 0235-831600
Téléc. : 0235-833891

Cours en radioprotection

Radiation Management Services, Inc.

Radiation Management Services, Inc.
757 McKay Road, Unit 1
Pickering (Ontario)
L1W 3C8
Tél. : (905) 428-8060
Téléc. : (905) 428-8451

RMS offre un atelier de formation pour les officiers de radioprotection tous les printemps et automne. Bien que cet atelier soit conçu principalement pour les officiers de radioprotection ou les responsables de la radioprotection dans un organisme, il constitue une bonne introduction pour les médecins du travail. Il traite des sources industrielles de rayonnements, des propriétés des rayonnements, de leurs effets biologiques, de la dosimétrie interne et externe, des instruments de détection et d'une panoplie d'autres sujets.

Université du Michigan

Radiological Health Faculty
School of Public Health
The University of Michigan
Ann Arbour, MI 48109-2029
Tél. : (313) 764-0523
Téléc. : (313) 764-9424

Cours abrégé sur la radioprotection : Ce cours est un programme intégré des principes élémentaires de la radioprotection conduisant à des applications en génie radiologique afin d'évaluer et de maîtriser les risques radiologiques. Il s'agit d'un cours de deux semaines divisé en deux volets, hygiène radiologique élémentaire et génie des rayonnements, qui peuvent être suivis séparément. Le volet sur l'hygiène radiologique élémentaire traite de la structure de la matière, des processus radioactifs, des interactions des rayons avec la matière, des quantités et des unités, de la détection des rayonnements et de la radiobiologie.

OUVRAGES ET LOGICIELS SUPPLÉMENTAIRES

Ouvrages généraux :

Canada : Vivre avec le rayonnement, 1995
(ISBN 0-660-16036-6, disponible auprès de votre libraire ou par correspondance auprès du Groupe Communication Canada - Édition, Ottawa, Canada K1A 0S9)

Risques associés au rayonnement : Information générale, INFO-0577, Commission de contrôle de l'énergie atomique, 1995

Information pour les médecins généralistes

Ce que le médecin généraliste doit savoir au sujet du traitement médical des individus surexposés. IAEA-TECDOC-366, Agence internationale de l'énergie atomique, 1986.

Effets du rayonnement sur la santé

Medical effects of ionizing radiation, Mettler, F.A. *et al.*, W.B. Saunders, Philadelphie, 1995.

Effects of atomic radiation: a half-century of studies from Hiroshima and Nagasaki. Schull, W., J. Wiley and Sons, Toronto, 1995.

Sources et effets du rayonnement ionisant, Comité scientifique des Nations-Unies sur les effets du rayonnement atomique, Nations-Unies, 1994.

Radionuclide Exposure of the Embryo/Fetus, National Council on Radiation Protection, NCRP, rapport nº 128, 1998.

Surveillance médicale

Lignes directrices révisées pour la surveillance médicale des travailleurs sous rayonnements. GCM-8, Groupe des conseillers médicaux, Commission de contrôle de l'énergie atomique, 1993.

Gestion des travailleurs subissant des expositions professionnelles à des rayonnements ionisants, CCRP-15, Comité consultatif de la radioprotection, Commission de contrôle de l'énergie atomique, 1993.

Health Effects and Medical Surveillance (1998). Practical Radiation Technical Manual. Agence internationale de l'énergie atomique IAEA-PRTM-3.

Health Surveillance of Persons Occupationally Exposed to Ionizing Radiation: Guidance for Occupational Physicians (1998). Safety Report Series No.5, Agence internationale de l'énergie atomique.

Radioprotection

Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook, Radiation Protection Dosimetry, volume 72, nº.1-2, 1998.

General principles for the radiation protection of workers, CIRP 75, Commission internationale de protection radiologique, Pergamon Press, 1997.

Individual monitoring for intake of radionuclides by workers: design and interpretation, CIRP 54, Commission internationale de protection radiologique, Pergamon Press, 1988.

Radiological protection of the worker in medicine and dentistry, CIRP 57, Commission internationale de protection radiologique, Pergamon Press, 1989.

Recommandations 1990 de la Commission internationale de protection radialogique, CIRP 60, Commission internationale de protection radiologique, Pergamon Press, 1991.

Annual limits of intake of radionuclides based on 1990 recommendations, CIRP 61, Commission internationale de protection radiologique, Pergamon Press, 1991.

Rapport sur la dosimétrie externe professionnelle au Canada. CCRP-17, Comité consultatif de la radioprotection, Commission de contrôle de l'énergie atomique, INFO-0621 (F), 1995.

Santé Canada, Radioexpositions professionnelles au Canada - 1994, Direction de l'hygiène du milieu, 95-DHM-195, Direction générale de la protection de la santé, 1995.

Traitement des contaminations externes et internes

Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries, Safety report Series #2, Agence internationale de l'énergie atomique, 1998.

Guidebook for the treatment of accidental internal radionuclide contamination of workers, Radiation Protection Dosimetry, vol. 41, nº 1, 1992.

Assessment and treatment of external and internal radionuclide contamination. AIEA-TECDOC-870, Agence internationale de l'énergie atomique, 1996.

Management of persons accidentally contaminated with radionuclides, NCRP 65, National Council on Radiation Protection and Measurements, 1980.

Hospital emergency department management of radiation accidents, Robert C. Ricks, Oak Ridge Associated Universities, Office of Development Resources, P.O. Box 117, Oak Ridge (TN) 37831-0117.

Lignes directrices pour la prise en charge médicale des personnes surexposées à l'eau tritiée, GCM-7, Groupe des conseillers médicaux, Commission de contrôle de l'énergie atomique, 1995.

Lignes directrices sur l'assistance à offrir en cas de surexpositions professionnelles aux rayonnements ionisants, GCM-6, Groupe des conseillers médicaux, Commission de contrôle de l'énergie atomique, 1993.

Information sur les essais biologiques

Santé et bien-être social Canada. Critères relatifs aux essais biologiques 1 : Critères généraux pour les essais biologiques : rapport du Groupe de travail sur les critères relatifs aux essais biologiques et à la surveillance *in-vivo*, Direction de l'hygiène du milieu, 81-DHM-56, Direction générale de la protection de la santé, 1981.

Santé et bien-être social Canada. Critères relatifs aux essais biologiques 2 : Critères d'essais biologiques du tritium : rapport du Groupe de travail sur les critères relatifs aux essais biologiques et à la surveillance *in-vivo*, Direction de l'hygiène du milieu, 82-DHM-87, Direction générale de la protection de la santé, 1982.

Santé et bien-être social Canada. Critères relatifs aux essais biologiques 3 : Critères d'essais biologiques de l'iode radioactif : rapport du Groupe de travail sur les critères relatifs aux essais biologiques et à la surveillance *in-vivo*, Direction de l'hygiène du milieu, Direction générale de la protection de la santé, 85-DHM-95, 1985.

Santé et bien-être social Canada. Critères relatifs aux essais biologiques 4 : Critères pour les essais sur l'uranium : rapport du Groupe de travail sur les critères relatifs aux essais biologiques et à la surveillance *in-vivo*, Direction de l'hygiène du milieu, 88-DHM-139, Direction générale de la protection de la santé, 1988.

Information sur des radioisotopes particuliers

Radioprotection : Iode-131, INFO-0546-1, Commission de contrôle de l'énergie atomique.

Radioprotection : Iode-125, INFO-0546-2, Commission de contrôle de l'énergie atomique.

Radioprotection : Phosphore-32, INFO-0546-3, Commission de contrôle de l'énergie atomique.

Management of C-14 in Canadian Nuclear Facilities. CCRP-14, Comité consultatif de la radioprotection, Commission de contrôle de l'énergie atomique, INFO-0569, 1995.

GCM-7, Lignes directrices pour la prise en charge médicale des personnes surexposées à l'eau tritiée, Groupe des conseillers médicaux, Commission de contrôle de l'énergie atomique, septembre 1995 (CCEA INFO-0586 (F)).

Probabilité de causalité

Methods for estimating the probability of cancer from occupational radiation exposure. AIEA-TECDOC-869, Agence internationale de l'énergie atomique, 1996.

The probability that a particular malignancy may have been caused by a specified irradiation. NCRP Statement No.7, émis le 30 septembre, National Council on Radiation Protection and Measurements, 1992.

Death of a classified worker probably caused by overexposure to ã radiation. D.C. Lloyd *et al.*, Occupational and Environmental Medicine, 51, 713-718, 1994.

Probability of causation for cancers potentially induced by ionizing radiation. L. Wagner *et al.*, Medical Physics, 16(3), 406-413 , 1989.

Probability of causation: Implications for radiation protection. R. Vetter, Health Physics, 64(2), 115, 1993.

Aspects légaux

Judicial autopsy of radiation accidents. P. Kannan, dans Medical Management of Radiation Accidents, F.A. Mettler *et al.* éditeurs, CRC Press, 1990.

Summary of experience in radiation litigation. V. Collins, dans le CRC Handbook of Management of Radiation Protection Programs, K.L. Miller *et al.* Éditeurs, 2e édition, CRC Press, 1992.

Preparing for court appearances. D. Jose, dans le CRC Handbook of Management of Radiation Protection Programs, K.L. Miller *et al.* éditeurs, 2e édition, CRC Press, 1992.

Radiological controls documentation in radiation injury litigation. G. Lodde, dans le CRC Handbook of Management of Radiation Protection Programs, K.L. Miller *et al.* éditeurs, 2e édition, CRC Press, 1992.

The medical and scientific basis for legal liability related to radiation exposure. V. Collins, dans le CRC Handbook of Management of Radiation Protection Programs, K.L. Miller *et al.* éditeurs, 2e édition, CRC Press, 1992.

Radiation litigation update: Whiting v. Boston Edison Co., An important legal development in controlling expert testimony based on "junk science". D. Wiedis *et al.*, Radiation Protection Management, 13(1), 57-66, 1996.

ALARA: Two court decisions with dramatically different implications. Wiedis, D. Et Jose, D., Nuclear News, juin 1996.

Logiciels

ASQRAD : un système d'évaluation pour la quantification de logiciel de détriment de radiation. Publication de la Commission européenne EUR 16644 EN, 1996 (disponible auprès du Centre d'étude sur l'evaluation de la protection dans le domaine nucléaire, Route du Panorama, BP 48 F, 92263 Fontenay-aux-Roses Cédex, France.

C'est un logiciel pour PC, de format Windows, servant à la quantification du détriment d'effets somatiques et héréditaires dans des populations et chez des individus. Il contient une base de données provenant de plusieurs pays et permet également à l'utilisateur d'y entrer d'autres données ou paramètres.

SURVRAD : C'est un logiciel pour PC, de format Windows, conçu pour évaluer les risques à vie de cancers causés par les rayonnements. Il a été conçu pour faire des prévisions sur les risques dus au rayonnement encourus par des populations, mais peut aussi servir à calculer des probabilités de causalité pour un certain groupe d'âges lors du diagnostic ou du décès.

Il est disponible auprès de Viking Software Corporation, P.O. Box 890245, Houston (Texas) 77289-0245, É.-U. Tél : (713) 488-9025; Fax : (713) 488-9025.

Ludep 1.0: Logiciel pour PC pour le calcul de doses internes à l'aide du nouveau modèle des voies respiratoires de la CIPR. N.S. Jarvis *et al.*, National Radiological Protection Board SR264, 1993. Il est disponible auprès du NRPB, Publications Office, Chilton, Didcot, Oxon OX11 ORQ, Royaume-Uni.

QUE DOIS-JE CONNAÎTRE AU SUJET DU TRAITEMENT DES CONTAMINATIONS INTERNES ET EXTERNES PAR DES RADIONUCLÉIDES?

La diminution des quantités de radionucléides déposés de manière interne peut être accomplie au moyen de deux processus généraux : 1) par la réduction de l'absorption et de l'incorporation interne; et 2) par une élimination ou une excrétion améliorée des radionucléides absorbés. Dans les deux cas, une meilleure efficacité est obtenue lorsque le traitement commence aussitôt que possible après l'exposition.

La décontamination de la peau et le traitement des plaies servent à réduire l'incorporation par voie cutanée.

Réduction de l'absorption gastro-intestinale
Agents de blocage et de diluants
Agents mobilisants
Agents chélateurs
Lavage des poumons
Hémodialyse
Résumé du traitement de certains contaminants radioactifs internes

RÉDUCTION DE L'ABSORPTION GASTRO-INTESTINALE

L'absorption gastro-intestinale peut être réduite soit par élimination des matières radioactives avant que l'absorption puisse se produire, soit en bloquant l'incorporation à l'aide de médicaments.

1. **Lavage d'estomac**. Dans le cas inhabituel où une quantité importante de radionucléide se trouve dans l'estomac, une sonde nasogastrique ou gastrique peut être utilisée pour le vider. L'addition de charbon peut également retarder l'incorporation.

2. **Émétique.** Le lavage d'estomac est souvent le moyen choisi, mais peut, quelques fois, se montrer inefficace. Le chlorhydrate d'apomorphine ou le sirop d'ipéca sont les médicaments émétiques les plus probablement utilisés dans de tels cas.

3. **Purgatifs**. Le choix d'un purgatif pour accélérer l'élimination du contenu de la voie gastro-intestinale dépend principalement de sa vitesse d'action. Un exposition à des radionucléides relativement insolubles pourrait être inquiétante. Ceux-ci peuvent rester dans le colon et le rectum pendant de nombreuses heures, mais pourraient être éliminés rapidement grâce à un traitement. Le colon pourra être vidé en quelques minutes avec un lavement phosphosodique et ce traitement devrait être envisagé en premier. Les médicaments purgatifs absorbés par voie orale, comme le biscodyl, l'huile de ricin ou la phénolphtaléine, ne font effet qu'après plusieurs heures, tout en agissant toutefois plus rapidement que d'autres. Certains purgatifs peuvent présenter des avantages particuliers, car ils produisent un composé moins soluble de certains radionucléides. Le sulfate de magnésium est un cathartique salin qui peut produire des sulfates relativement insolubles avec quelques radionucléides, p. ex., le radium.

4. **Résines échangeuses d'ions**. Les résines échangeuses de cations ou d'anions à forte capacité peuvent avoir des effets secondaires toxiques et ne sont pas, en général, recommandées. Bien qu'aucune publication ne mentionne l'utilisation de charbon activé dans des cas d'ingestion de radionucléides, celle-ci semblerait pouvoir être utile pour réduire l'incorporation de ces composés.

5. **Bleu de Prusse**. On a montré, chez des animaux, que le ferrocyanure ferrique (bleu de Prusse) est efficace pour accélérer l'élimination du césium, du thallium et du rubidium dans les excréments. Le bleu de Prusse n'est pas absorbé dans la voie gastro-intestinale et a une faible toxicité. L'administration d'un à trois grammes de bleu de Prusse, 3 fois par jour pendant une période allant de plusieurs jours jusqu'à trois semaines, est bien tolérée chez l'adulte. Chez les humains, ce composé a permis de réduire la période biologique du ^{137}Cs à un tiers de sa valeur normale.

6. **Anti-acides renfermant de l'aluminium**. Ces composés sont efficaces pour réduire l'incorporation intestinale du strontium. Une simple dose orale de 100 ml de gel de phosphate d'aluminium administrée immédiatement après l'ingestion de strontium radioactif permettra de réduire son incorporation de 85 %. Une simple dose de 60 à 100 ml d'hydroxyde d'aluminium administrée immédiatement après une exposition réduira l'incorporation d'environ 50 %. Ces deux médicaments ne sont pas toxiques et sont bien tolérés.

7. **Sulfate de baryum**. Ce sel fortement insoluble est utilisé comme agent de contraste lors de radiographies X de la voie gastro-intestinale. À l'exception de problèmes de constipation, aucun autre effet néfaste n'a pu être observé. En cas d'urgence après l'ingestion de radionucléides, l'utilisation de sulfate de baryum est indiquée comme antidote immédiate pour le strontium et le radium. La formation de sulfates insolubles de ces éléments réduira leur incorporation intestinale.

AGENTS BLOQUANTS ET DILUANTS

Les agents bloquants saturent un tissu spécifique d'un élément stable choisi, réduisant ainsi l'incorporation d'un radionucléide habituellement absorbé par ce tissu. L'administration de grandes quantités d'un élément (composé) stable choisi provoque une dilution isotopique, qui (à cause du facteur de dilution) réduit l'incorporation du radionucléide par l'organe. La thérapie de remplacement est une forme spéciale de dilution isotopique dans laquelle un élément stable d'un numéro atomique différent est incorporé dans un organe préférentiellement au radionucléide. Nous faisons un résumé de certains des exemples les plus pratiques de ce type d'agents.

1. Iodures

L'emploi précoce d'un iodure stable peut réduire l'incorporation de l'iode radioactif par la thyroïde. Une dose de 390 mg d'iodure de potassium (300 mg d'iodure) permet un blocage maximal. L'administration d'une seule dose d'iodure stable dans les quelques minutes qui suivent l'exposition à l'iode radioactif peut réduire l'incorporation à environ 1 ou 2 %, alors que l'incorporation normale va de 12 à 20 %. L'incorporation n'est bloquée qu'à moitié si l'administration d'iodure est retardé de 6 h et l'effet est minimal si le délai atteint 12 h. L'administration quotidienne d'iodure de potassium (KI) est recommandée pendant environ 7 à 14 d pour empêcher le recyclage de l'iode radioactif dans la thyroïde. La posologie susmentionnée est recommandée en cas d'exposition d'une personne. Toutefois, pour le grand public et en cas d'urgence, une dose inférieure a été recommandée, soit 130 mg de KI (100 mg d'iodure). Le signalement d'effets nocifs à des doses quotidiennes de 300 mg d'iodure semble indiquer un taux de réaction d'environ 1 à 10/10 000 000 [Lu80]. L'incidence des effets nocifs est proportionnelle à la dose et à la durée d'administration. Après l'administration d'iode, habituellement sur une période de plusieurs semaines au moins, les effets induits par l'iode sont, entre autres, la thyrotoxicose, le goitre exophtalmique (dû à l'iodure), l'hypothyroïdie accompagnée de goitre, la parotidite due à l'iodure, des éruptions cutanées acnéiformes et d'autres manifestations systémiques encore moins fréquentes (fièvre, arthralgie, inflammation des articulations, etc.). Comme ces effets sont inversés quelques jours après l'interruption de la médication, il n'est pas nécessaire de continuer à les contrôler au-delà de cette période après l'administration de la dernière dose d'iodure. Le problème des effets secondaires est, croit-on, très faible à la posologie mentionnée ici.

2. Strontium

Le strontium stable est un agent diluant utile pour le radiostrontium. Il est disponible sous forme de comprimés (300 mg de lactate de strontium administrés de 2 à 5 fois par jour) ou d'une solution intraveineuse (gluconate de strontium, par infusion, sur une période de 4 h, de 600 mg de strontium par jour dans 500 mL d'une solution de glucose à 5 % dans l'eau). Les comprimés, qui ne sont pas toxiques à cette dose, sont bien tolérés lorsqu'ils sont administrés avec un repas. Le traitement peut se faire quotidiennement pendant plusieurs semaines.

3. Phosphates

Les phosphates peuvent être utilisés pour diminuer l'absorption du radiostrontium par l'intestin. Ils peuvent aussi servir d'agent diluant en cas d'une mauvaise administration médicinale de ^{32}P. Les phosphates peuvent être administrés par voie orale sous forme inorganique (phosphate de sodium ou de potassium) ou organique (glycérophosphate de sodium). L'administration de doses de phosphate supérieures à 2 g/d peut provoquer des vomissements, de la diarrhée, ou les deux. Les phosphates peuvent servir de purgatif salin. Il est peu probable qu'ils soient administrés par voie intraveineuse comme traitement en cas d'incorporation de radionucléides. L'administration doit se faire avec précautions, car une administration rapide peut provoquer une grave hypotension, une insuffisance rénale et un infarctus du myocarde. Le calcium sérique et l'électrocardiogramme doivent être contrôlés durant ces infusions.

4. Administration forcée de fluides

L'absorption par la bouche d'une grande quantité de fluide accélère l'excrétion du tritium de façon proportionnelle. La période biologique du tritium dans l'organisme peut être réduite par l'administration forcée d'au moins 3 ou 4 litres de fluide par jour. Continuer l'administration forcée au volume toléré pendant au moins 1 semaine ou jusqu'à ce qu'il ne soit plus jugé nécessaire de réduire la dose résiduelle. La dose absorbée peut être réduite par un facteur de 2 au moins par une gestion soignée.

5. Calcium

L'administration de calcium par voie orale ou intraveineuse accélère l'excrétion du radiostrontium et du radiocalcium.

AGENTS DE MOBILISATION

Les agents de mobilisation sont des composés qui accélèrent un procédé naturel de renouvellement et entraînent donc l'élimination de certaines formes de radioisotopes des tissus. Il s'ensuit une élimination accélérée de l'organisme et une réduction de la période biologique. Ces agents sont plus efficaces lorsqu'ils sont administrés peu de temps après l'exposition, mais ils ont quand même un effet après un délai allant jusqu'à 2 semaines.

1. Médicaments antithyroïdien

Le traitement de choix pour réduire la dose d'iode radioactif est le blocage thyroïdien par l'administration d'iode stable. Quand il s'est écoulé 12 h ou plus depuis l'exposition, le traitement à l'iode stable a une efficacité limitée, car l'iode radioactif est déjà déposé dans la thyroïde. Dans ce cas, il est permis d'envisager l'emploi d'un médicament antithyroïdien, comme le propylthiouracil ou le méthimazole. Ces médicaments interfèrent avec l'oxydation de l'ion iodure et bloquent la formation de l'hormone. La réaction à ces médicaments est fortement réduite si la thyroïde a déjà de fortes réserves d'iode stable, comme c'est le cas lorsqu'un iodure stable a déjà été administré. Le risque d'effets secondaires est beaucoup plus élevé qu'avec l'iode stable. Chez 2 à 8 % environ des patients recevant ces médicaments il se manifeste une irritation maculopapulaire, qui ne nécessite pas habituellement l'interruption de la médication. Les lésions hépatocellulaires, l'angéite et l'agranulocytose (chez environ 0,2 % des patients) sont des effets secondaires beaucoup plus rares, qui sont cependant graves. Ces effets secondaires sont habituellement réversible à la suite de l'interruption de la médication. Chez plusieurs volontaires, la période efficace du ^{131}I a été réduite d'environ 25 % par l'administration de méthimazole plusieurs jours après qu'ils eurent reçu de l'iode radioactif [Ha86]; la réduction de la dose de rayonnements ne devrait pas être efficace si le traitement est commencé seulement plusieurs jours après l'exposition.

2. Chlorure d'ammonium

L'administration de ce sel acidifiant par voie orale (de 1 à 2 g, quatre fois par jour) immobilise efficacement le radiostrontium déposé dans l'organisme. Son efficacité peut être augmentée par l'administration simultanée par voie i.v. de gluconate de calcium (500 mg de calcium dans 500 mL d'une solution de glucose à 5 % dans l'eau) pour une période de 3 à 6 jours consécutifs à raison de 4 h/j. Si la médication est commencée peu après l'exposition, on estime qu'il est possible d'atteindre une réduction de la charge organique de radiostrontium de 40 à 75 %. Comme le chlorure d'ammonium cause souvent de l'irritation gastrique, des nausées et des vomissements, il ne devrait pas être administré à des personnes ayant de graves maladies du foie.

3. Diurétiques

La valeur des diurétiques n'a pas été testée pour le traitement des dépôts internes de radionucléides. Toutefois, l'induction de la diurèse s'accompagne d'une excrétion de chlorure de sodium, de bicarbonate de potassium, de magnésium et d'eau dans les urines.

4. Expectorants et médicaments pour inhalation

Les études faites sur les effets de ces agents sur les particules radioactive inhalées ont donné des résultats décevants. Aucun d'entre eux n'a montré une action efficace qui serait fiable ou particulièrement utile pour le traitement de personnes ayant inhalé des particules radioactives,

5. Extrait parathyroïdien

L'injection de parathormone favorisant l'excrétion urinaire du phosphore s'est avérée efficace pour traiter une surdose de radiophosphore.

AGENTS CHÉLATEURS

Un certain nombre de composés chimiques accélèrent l'élimination des métaux de l'organisme par chélation, un processus dans lequel les composés organiques échangent les ions auxquels ils sont faiblement liés avec d'autres ions inorganiques avec lesquels ils forment un complexe cyclique non ionique relativement stable . Ce complexe soluble est excrété rapidement par les reins. L'excrétion de certains radionucléides peut être accéléré par l'administration d'un agent chélateur bien choisi. L'efficacité de la thérapie de chélation est maximale quand elle est commencée le plus tôt possible après l'exposition, car elle ne fonctionne que sur les ions métalliques des fluides extracellulaires et non pas sur ceux déjà incorporés dans les cellules.

Le principal médicament utilisé pour l'élimination des radionucléides est connu sous le nom de DTPA, un acronyme de son nom chimique, soit acide diéthylènetriaminepentaacétique. Ce composé est utile pour la chélation du plutonium, du berkélium, du californium, de l'américium et du curium. En plus de ces métaux transuraniens (métaux au numéro atomique supérieur à celui de l'uranium), le DTPA chélate également avec efficacité certaines terres rares (éléments dont le numéro atomique se situe entre 58 et 71: cérium, yttrium, lanthane, prométhium et scandium) et certains métaux de transition (zirconium et niobium).

Les études réalisées sur les animaux indiquent que le ZnDTPA est moins toxique que le CaDTPA dans certaines situations. Le ZnDTPA est recommandé pour un traitement à long terme et pour le traitement des femmes enceintes. Chez le rat, le CaDTPA est plus efficace que le ZnDTPA contre les métaux transuraniens lorsqu'il est administré peu de temps après l'exposition. Voilà pourquoi le CaDTPA est le composé préféré pour le traitement lors des deux premiers jours du traitement.

Ni le ZnDTPA, ni le CaDTPA n'ont entraîné une toxicité grave chez l'homme aux doses recommandées. À forte dose, le CaDTPA s'est avéré toxique chez l'animal par suite de la chélation et de l'excrétion de métaux traces comme le zinc et le manganèse. Chez l'animal, des doses 200 fois plus élevées que chez l'humain produisent des lésions graves des reins, des muqueuses intestinales et du foie. Chez la souris, l'administration de doses aussi élevées durant toute la gestation a entraîné de la tératogenèse et le décès de foetus.

Pour le traitement d'une exposition au plutonium, l'efficacité de la chélation par le DTPA varie fortement en fonction de la forme chimique de ce métal. Les formes solubles, comme les nitrates, sont rapidement absorbés dans les fluides extracellulaires, où la chélation peut avoir lieu. Les données recueillies chez des personnes traitées ou non au CaDTPA dans les heures suivant l'exposition indiquent que de 60 à 70 % environ du plutonium soluble est éliminé. Ces chiffres sont vrais autant pour l'absorption par inhalation que pour les blessures contaminées. Les formes insolubles du plutonium (par exemple, les oxydes formés à haute température) sont lentement absorbées dans le fluide extracellulaire sur des périodes de plusieurs mois. Dans ce cas, la concentration de plutonium dans le fluide extracellulaire est minime et la chélation n'accélère pas l'excrétion de façon significative.

La posologie recommandée pour le ZnDTPA ou le CaDTPA est une seule dose de 1 g par jour. Cette dose ne devrait pas être fractionnée (c.-à-d., administrée en doses multiples par jour). L'administration peut se faire soit par voie intraveineuse, soit par inhalation sous forme d'aérosol.

Le protocole habituel d'administration par i.v. consiste à diluer 1 g de DTPA dans 250 mL de soluté physiologique ou dans une solution de glucose à 5 % dans l'eau sur une période d'environ 30 min. Certains médecins préfèrent suivre un autre protocole qui consiste à en diluer 1 g dans 10 à 20 mL de soluté physiologique et à l'injecter par i.v. sur une période de 5 minutes. Dans les deux cas, il faut s'assurer d'éviter l'extravasation. L'administration en aérosol se fait avec 1 g de CaDTPA dans un nébulisateur dont le contenant est inhalé en 15 à 20 minutes. Le ZnDTPA est moins propice que le CaDTPA à l'administration en aérosol, à cause de son goût métallique. Il est prudent de ne pas procéder par voie d'inhalation pour les personnes atteintes de maladies pulmonaires.

Avant chaque traitement, des analyses d'urine devraient avoir été effectuées en clinique et avoir donné des résultats normaux. Les contre-indications possibles à l'usage de cette médication sont une leucopénie importante, la thrombocytopénie et une insuffisance rénale grave.

Le DTPA n'est pas commercialisé au Canada, mais il est possible, dans certaines conditions et en suivant une procédure précise, de l'importer d'Allemagne avec l'autorisation de Santé Canada. Il faut noter que la procédure d'approbation peut être longue. L'unité de traumatologie des rayonnements du *Toronto Hospital* possède une réserve de DTPA pour usage en cas d'urgence. Les Laboratoires de Chalk River d'Énergie atomique Canada limitée ont aussi une réserve de DTPA. Ils s'approvisionnent auprès de l'*U.S. Radiation Emergency Assistance Centre and Training Site* grâce à un réseau de médecins co-chercheurs. Aux É.-U., le DTPA a été approuvé pour les recherches par la *Food and Drug Administration*.

LAVAGE PULMONAIRE

L'inhalation de particules radioactives est un mode fréquent d'exposition en milieu de travail. Si les particules sont insolubles, une forte proportion des matières radioactives est retenue pendant nombre de mois, voire des années dans les poumons. La thérapie de chélation n'est pas efficace dans ces cas.

Lors d'études faites chez le chien, le lavage de l'arbre trachéobronchique enlève de 25 à 50 % environ des particules insolubles inhalées [Bo53, Th59, He52]. Le protocole demande l'intubation de l'endotrachée et des bronches sous anesthésie générale. Les voies aériennes sont lavées avec un soluté isotonique. Expérimentalement, cinq lavages furent réalisées sur le poumon droit et le poumon gauche, soit dix au total, en commençant la première semaine après l'exposition et en procédant aux lavages à intervalle de trois jours à une semaine. Une pneumonite radioinduite et des décès précoces survinrent chez seulement 25 % des chiens traités, alors que tous les chiens non traités décédaient. Chez le babouin, dix lavages pulmonaires enlevaient de 60 à 90 % de la charge pulmonaire en oxyde de plutonium [Sh61].

L'application de ce traitement nécessite une évaluation soignée des risques/avantages. Les risques posés sont surtout ceux dus à l'administration d'un anesthésique général. Le risque de mortalité semble être 0,2 % au moins à chaque lavage. Le risque posé par ce protocole est immédiat, alors que le risque d'induction d'un cancer des poumons par les rayonnements ne se fait sentir que des années plus tard. L'emploi de ce protocole devrait donc se limiter aux cas où la dose pulmonaire de particules insolubles d'émetteurs alpha est suffisamment élevée pour entraîner des lésions aiguës dues au rayonnement.

HÉMODIALYSE

La dialyse sanguine peut avoir des avantages limités pour l'élimination de résidus de radiocésium. Après 4 heures, 90 % de l'activité administrée peut être éliminée [Ve95].

L'hémodialyse a aussi un potentiel d'application dans le traitement des personnes surexposées à de l'eau tritiée [GM95].

SOMMAIRE DES TRAITEMENTS UTILISÉS CONTRE CERTAINS CONTAMINANTS RADIOACTIFS INTERNES

Contaminant	Protocole	Médication	Commentaires
Américium	Excision de la plaie	DTPA*	Voir éléments transuraniens
Californium	Excision de la plaie	DTPA*	Voir éléments transuraniens
Cérium		DTPA*	Voir terres rares
Césium		Bleu de Prusse*	
Curium	Excision de la plaie	DTPA*	Voir éléments transuraniens
Hydrogène (tritium)		Eau	Admin. forcée de fluides jusqu'au volume toléré
Particules insolubles			
Ingérées	Lavage stomacal		
Inhalées	Lavage pulmonaire	Purgatifs	Si effets aigus prévus
Iode		KI ou NaI	
Lanthane		DTPA*	Voir terres rares
Mercure		Pénicillamine	
Phosphore		Phosphates	Antiacide contenant de l'aluminium si ingestion
Plutonium	Excision de la plaie	DTPA*	Voir éléments transuraniens
Terres rares (numéro atomique entre 58 et 71)		DTPA*	
Strontium		Strontium/calcium voie orale, chlorure d'ammonium	Antiacide contenant de l'aluminium si ingestion 1 g/d i.v. ou en aérosol
Éléments transuraniens (numéro atomique supérieur à celui de l' uranium)		DTPA*	
Zinc		CaDTPA*	

* Approbation de Santé Canada nécessaire pour cet emploi

DOCUMENTS DU GROUPE DES CONSEILLERS MÉDICAUX

GCM-1	(Remplacé par GCM-8)
GCM-2	Lignes directrices sur les niveaux d'exposition aux rayonnements dans les situations d'urgence (1992)
GCM-3	Lignes directrices révisées pour les plans d'urgence des hôpitaux aux fins de la gestion des accidents radiologiques mineurs (1992)
GCM-4	Lignes directrices sur la gestion des patients traités à l'iode 131 (1993)
GCM-5	Lignes directrices concernant la recherche menée sur des sujets humains à l'aide de radionucléides (1994)
GCM-6	Lignes directrices sur l'assistance à offrir en cas de surexpositions professionnelles aux rayonnement ionisants (1993)
GCM-7	Lignes directrices révisées pour la prise en charge médicale des personnes surexposées à l'eau tritiée (1995)
GCM-8	Lignes directrices révisées pour la surveillance médicale des travailleurs sous rayonnements (1993)
GCM-9	Lignes directrices sur l'utilisation de l'iode stable comme mesure prophylactique en cas d'urgence nucléaire (1996)
GCM-10	Effets sanitaires observés et théoriques de l'accident de Tchernobyl (1996)
GCM-11	(Publication - d'ici l'an 2000, selon les prévisions - en tant que document du groupe de travail mixte AC-9 : Principes de gestion des thérapies par les radionucléides)
GCM-12	Guide sur l'exposition au rayonnement ionisant à l'intention des médecins du travail (1999)
GCM-13	Examen de l'assurance de la qualité en radiothérapie (1998)
GCM-14	Lignes directrices sur le maniement des victimes d'accidents radiologiques destinées à l'usage des hôpitaux communautaires (publication prévue pour la fin de 1999)

QUELLES SONT LES QUESTIONS LE PLUS SOUVENT POSÉES?

Les questions et les réponses sont tirées de « Les risques associés au rayonnement : renseignements généraux », publié par la Commission de contrôle de l'énergie atomique (INFO-0577)*:

Qu'est-ce que le rayonnement?

Le rayonnement est une forme d'énergie émise sous la forme de rayons électromagnétiques ou de particules subatomiques. Il existe plusieurs types différents de rayonnements, aux propriétés très différentes. Ces types peuvent être divisés en duex groups fondamentaux - rayonnement ionisant et non-ionisant- suivant leurs effets sur la matière. Dans le présent document, on considérera uniquement le raoynnement «Ionisant» rencontré dans l'industrie nucléaire, tels les rayons gamma, les particules bêta, les neutrons et les particules alpha. Le rayonnement «non ionisant», tels les hyperfréquences et les ultrasons, ne sera pas considéré car il n'est pas relié à l'utilisation de l'énergie nucléaire. La propriété de l'ionisation est à l'origine des effets sur la santé qui seront au centre des discussions. (Les rayons X sont similaires aux rayons gamma, mais comme l'utilisationdes rayons X est réglementée par Santé Canada au niveau fédéral, ainsi que par les provinces, ce type de rayonnment ne sera pas abordé dans le présent document. On notera que les renseignements sur l'efet des rayons gamma sont généralement applicable aux rayons X.)

Qu'est-ce que un rayonnement ionisant?

Un rayonnement ionisant est un rayonnement ayant une énergie suffisamment élévée pour créer des particules chargées, appelées ions, dans les matériaux dans lesquels il est absorbé. Dans les tissus humains, ces particules chargées peuvent causer des dommages aux cellules et produire certains effets. (Pour plus de détails, se reporter à la question 6.)

Comment se produit un rayonnement ionisant?

Le rayonnement ionisant est le résultat de la décroissance naturelle des substances radioactives ou de la désintégration (fission) de certaines matériaux radioactifs; il peut également être produit par les appareils à rayons X et les accélérateurs de particules. Au nombre des exemples de ces matériaux radioactifs figurent l'uranium dans les formations rocheuses, les radionucléides utilisés en milieu hospitalier et le combustible du cœur d'un réacteur nucléaire.

---

* Ces questions et réponses concernent les activités autorisées par la Commission de contrôle de l'énergie atomique; par conséquent, les rayons X, qui sont semblables aux rayons gamma, ne sont pas traités spécifiquement dans cette section, mais l'information fournie est généralement applicable. Ces questions et réponses ont été légèrement modifiées par rapport au texte original afin qu'elles puissent être comprises dan le cadre de ce document.

Quelles sont les sources de l'exposition au rayonnement ionisant naturel?

Le rayonnement cosmique de l'espace extra-atmosphérique est une composante majeure du rayonnement naturel, et bon nombre de roches et des matériaux de construction contiennent des traces de matériaux radioactifs produisant un rayonnement ionisant. Une autre source importante du rayonnement naturel est le radon, un gaz produit par la décroissance de l'uranium. Par le sol, le radon peut s'introduire dan les bâtiments et s'accumuler à des concentrations significatives dans les espaces clos tels les sous-sols, selon la teneur en radium du sol environnant et d'une multitude d'autres facteurs. Lorsqu'il est inhalé, le radon, ainsi que ses produits de désintégration radioactive délivrent une certaine dose de rayonnement dans les tissues des poumons. Outre ces sources, l'organisme human contient de l'uranium et du thorium d'origine alimentaire. Le potassium, un contituant des tissus de l'organisme, est naturellement radioactif dans une certaine mesure en raison de son isotope, le potassium 40.

Quels sont les niveaux du rayonnement ionisant naturel?

Au Canada, la dose totale reçue par chaque individu en un an et attribuable au rayonnment naturel varie de 2 à 4 millisieverts(mSv). Les personnes vivant à haute altitude reçoivent une dose attribuable au rayonnement cosmique plus élévée que celles qui vivent au niveau de la mer. De même, dans les régions où la teneur en uranium ou en thorium du roc ou du sol est élévée, la dose de rayonnment reçue est supérieure à la moyenne, tout comme la concentration de radon dans les batiments varie de manière significative selon le type d'assise rocheuse et de construction de ces derniers.

Par quels mécanismes le rayonnement cause-t-il des dommages dans l'organisme?

Lorsque l'organisme est exposé à un rayonnement, chaque rayon ou particule du rayonnement peut déclencher une série d'événements physiques ou chimiques, à commencer par l'ionisation, pouvant causer des dommages au niveau cellulaire ou moléculaire. Par exemple, le rayonnement peut endommager le noyau d'une cellule ou causer la mort de cette dernière . Les cellules ayant subi des dommages peuvent se multiplier et propager ainsi les lésions. Dans certains cas, la cellule est en mesure de réparer cette lésion. Il importe de réaliser que ce processus se produit en permanence dans notre organisme. De fait, les sources naturelles de rayonnement nous soumettent, durant chaque seconde de notre vie, à quelques 15 000 événements de ce type. Parfois, la réparation cellulaire subit une défaillance et la structure de la cellule s'en retrouve altérée. Ces altérations peuvent demeurer sans effet, tout comme elles peuvent conduire à des effets qui se manifestent ultérieurement.

Quels sont les effets réels du rayonnement?
Effets stochastiques

Le cancer et les effets héréditaires sont considérés comme des effets stochastiques. Le terme «stochastique» se réfère à la probabilité que l'effet se produise. En d'autres termes, l'effet peut se produire ou ne pas se produire. Toutefois, on suppose que cette possibilité n'est jamais nulle, même si la dose de rayonnment est très faible , et que la probabilité de l'effet augmente en raison directe de la dose. Cette hypothèse, selon laquelle il n'existe aucun niveau de dose ou «seuil» en-dessous duquel la probabilité d'un effet est nulle, et selon laquelle la probabilité augmente en proportion de l'importance de la dose, est appelée «l'hypothèse linéaire sans seuil». Il convient de noter que, pour

les effets stochastiques, c'est la probabilité d'avoir un effet plutôt que la gravité de cet effet qui augmente en fonction de l'importance de la dose.

À une dose de 10 mSv, l'effet sur un individu est une légère augmentation du risque à vie de cancer (500 cancers mortels pour un million d'individus exposés). Il s'agit d'une augmentation infime si on la compare au risque de mourir d'un cancer ayant une autre cause (le pourcentage normal de décès attribuables au cancer est d'environ 27%, ou 270 000 sur un million). Il convient de souligner que les cancers causés par le rayonnment sont de même type que ceux attribuables à d'autres causes et, partant, ne peuvent être distingués de ces derniers. Les statistiques canadiennes sur le cancer montrent que nous avons tous une chance sur 4 (en fait 270,000 sur million) de décéder des suites d'un cancer. Ce taux global est demeuré relativement constant depuis plusieurs années, en dépit de la variation possible des fréquences des différents types de cancer.

Les effets génétiques chez les enfants des personnes exposées au rayonnment est également un effet du hasard. En d'autres termes, les enfants d'individus exposés au rayonnement peuvent en subir les conséquences ou non. Les types d'effets génétiques (par exemple, mutations génique et anomalies chromosomiques) sont les mêmes que ceux attribuables à d'autres causes. Il convient de souligner que les effets génétiques radio-induits n'ont pas été observés chez l'humain. C'est pourquoi les études chez l'animal servent de base aux informations sur ce type d'effet.

Effets non stochastiques

Par opposition aux effets stochastiques, la gravité des effets «non-stochastiques» ou «déterministes» dépend de l'importance de la dose reçue. La probabilité de causer un effet nocif sera nulle jusqu'à un certain niveau de dose appelé «seuil». Ces effets incluent les cataractes, les lésions cutanées non malignes (brûlure par irradiation), les anomalies sanguines et la fertilité réduite, qui ne peuvent se manifester que lorsque la dose de rayonnement est supérieure à un niveau donné. Les limites admissibles réglementaires sont conçues pour que la dose de rayonnment reste bien inférieure à ce seuil, auquel cas le risque de manifestation de ce type d'effet est nul.

De quelle mannière les risques varient-ils en fonction de la dose de rayonnment?

La majorité des informations sur les effets stochastiques du rayonnment ont été obtenues par des études menées chez l'animal, chez les survivants de la bombe atomique au Japon et chez les humains exposés à des doses élévées lors d'un traitement médical. Par conséquent, les estimations du risque dans le cas de faibles doses, telles celles reçues normalement par exposition professionelle au rayonnement, doivent être dérivées des données obtenues à des doses de loin supérieures.

Toutefois, selon toute vraisemblance, aux doses très faibles reçues par les travailleurs exposés au rayonnement, l'effet stochastique par unité de dose est plus faible que celui observé à dose élevée, et les estimations du risque ont été modifiées pour tenir compte de cette différence.

Néanmoins, on suppose prudemment que, à faible dose, la probabilité d'observer un effet stochastique augmente en raison directe de la dose. Il s'agit d'une hypothèse fondamentale en radioprotection qui comporte une conséquence importante : aussi faible que puisse être la dose, il subsiste un risque

infime d'observer un effet. Il découle de cette hypothèse qu'il n'existe aucun « seuil » pour les effets stochastiques.

Dans la pratique, pour les doses annuelles inférieures aux limites réglementaires, la probabilité d'observer un effet stochastique est si faible, par rapport aux taux auxquels ces effets se produisent en raison d'autres causes, qu'il est impossible de les distinguer sur le plan statistique, même dans des groupes de personnes relativement importants. À des niveaux aussi faibles, les variations statistiques naturelles sur les plan des effets (cancer, effets génétiques) sont assez élevées pour masquer tout effet imputable au rayonnement.

Par conséquent, il est difficile de rassembler des preuves concluantes pour se prononcer pour ou contre cette hypothèse de l'absence de seuil. Pour plaider en faveur de l'existence d'un seuil, on peut prétendre que l'organisme dispose de mécanismes de réparation efficaces qui réparent en permanence les lésions cellulaires d'origine diverses, notamment le rayonnment ionisant naturel. De plus, bon nombre de substances qui sont toxiques à haute dose peuvent être tolérées à faible dose avec des effets minimes ou nuls. En revanche, la naissance d'un cancer, parcde qu'on pense qu'il est causé par des lésions cellulaires, en particulier au niveau des « réserves d'information» du noyau de la cellule, peut apparaître comme un processus dépourvu de seuil. Il existe un risque qu'un seul événement de rayonnment ionisation puisse produire un défaut dans le noyau cellulaire susceptible de mener à l'apparition d'un cancer, en particulier si la cellule a déjà été endommagée par d'autres agents, par exemple produits chimiques ou virus. Un événement d'ionisation isolé peut être causé par une dose extrêmement faible, laquelle pourrait donc en théorie avoir certains effets. Toutefois, pour replacer cet événement isolé dans son contexte, il convient de se souvenir, que 15 000 événements de ce type se produisent dans notre organisme chaque seconde, sous l'action du rayonnement ionisant naturel.

À quelles doses considère-t-on que le rayonnement est nocif?

Une dose de plusieurs milliers de millisieverts délivrée dans un bref laps de temps sur l'ensemble de l'organisme tue la plupart des humains en l'espace de quelques jours. Toutefois, cette même dose, délivrée en petites quantités sur plusieurs années, peut n'avoir aucun effet nocif, en raison de la capacité de réparation des dommages par l'organisme si ces dommages se produisent lentement. Il convient de mettre le mot « peut » en évidence en raison de l'élément de hasard lorsque l'on parle de certains effets du rayonnement. Le term utilisé pour pour décrire ce type d'effet qui peut ou non se produire est « stochastique », et les seuls effets stochastiques connus sont le cancer chez l'individu et les troubles héréditaires chez ses enfants. En d'autres termes, une dose croissante de rayonnment augmente la probabilité d'apparition d'un cancer. Si un cancer apparaît, sa gravité n'est pas influencée par le niveau de la dose et il se comporte comme tout autre cancer.

Quelles sont les doses réelles reçues par les travailleurs canadiens?

Les rapports annuels du Fichier dosimétrique national, administré par Santé Canada, indiquent que la dose moyenne annuelle des 120 000 travailleurs exposés au rayonnement ionisant au Canada, (incluant ceux exposés aux rayons X) est d'environ 0,33 mSv. Pour deux des catégories de travailleurs, à savoir les radiographes industriels et les préposés à la manutention du combustible nucléaire, les doses annuelles moyennes varient respectivement de 2 à 5 mSv.

Quels sont les principes de la radioprotection?

La limitation de l'exposition au rayonnement de même que des doses qui en résultent s'appuie sur les principes suivants :

a) Justification : aucune utilisation de rayonnement ou de matières radioactives ne devrait être adoptée, sauf si elle procure un avantage positif net pour la société.

b) Optimisation : dans tous les cas, l'exposition au rayonnement doit être maintenue au niveau le plus faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, après avoir pris en considération les facteurs économiques et sociaux (appelé principe ALARA).

c) Limitation de la dose : la dose de rayonnement reçue par les individus ne doit pas excéder les limites réglementaires appropriées aux circonstances.

Ces principes ont été édictés par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), un organisme constitué d'experts internationaux, ayant pour mandat d'examiner les preuves scientifiques disponibles et de formuler des recommandations en matière de radioprotection. Ces principes ont été étroitement suivis par la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) dans l'établissement des limites de dose et du processus réglementaire canadien. L'approche de la CIPR est également endossée et appliquée dans la plupart des autres pays et par des organisations internationales telles l'Organisation mondiale de la santé, l'Organisation internationale du travail, l'Agence internationale de l'énergie atomique et l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation pour la coopération et le développement économiques (OCDE).

Quelles sont les modalités d'application du système de limitation des doses?

Les limites de dose applicables aux individus sont intégrées dans un règlement édicté en vertu de la *Loi sur le contrôle de l'énergie atomique* (LCEA). Tous les responsables de l'exploitation d'une centrale nucléaire, ou encore de la possession ou de l'utilisation de matières radioactives, doivent détenir un permis en vertu de ce règlement et veiller à ce que personne ne reçoive une dose de rayonnement excédant ces limites par suite de leurs activitiés . À l'avenir, les limites de dose seront intégrées dans les règlements en voie d'élaboration en vertu de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires*.

La CCEA est l'organisme de réglementation qui administre la *Loi sur le contrôle de l'énergie atomique*, délivre les permis et veille au respect des exigences réglementaires. Les personnes faisant une demande de permis doivent indiquer comment elles entendent prévenir l'exposition des individus à des doses supérieures aux limites de dose. Elles doivent également indiquer les conditions dans lesquelles elles entendent exploiter leur installation ou utiliser les matières radioactives, décrire les mesures qui seront prises pour limiter les doses de rayonnement, estimer les doses associées pour les travailleurs et le public et établir, preuve suffisante à l'appui, que ces doses resteront à un niveau suffisamment faible, en accord avec le principe ALARA. Les conditions appropriées sont alors incluses dans le permis.

Quelles sont les limites actuelles pour les travailleurs sous rayonnement?

À l'heure actuelle, la limite de dose est de 50 mSv par an. Toutefois, la CIPR recommande une nouvelle limite de 100 mSv sur cinq ans, s'appuyant sur des estimations révisées du risque causé par

les rayonnements. Ces nouvelles estimations découlent principalement d'une analyse plus détaillée des données obtenues par l'étude des survivants de la bombe atomique. Les nouvelles recommandations de la CIPR (1990), tout en maintenant la limite de 50 mSv pour une année donnée, introduisent en outre un processus de calcul de moyenne sur cinq ans afin de limiter les doses à une moyenne de 20 mSv par année. Cette recommandation a pour effet de restreindre les doses à une moyenne de 20 mSv par an. Cette recommandation a pour effet de restreindre les doses approchant 50 mSv par an à des circonstances exceptionnelles. La CCEA se prépare actuellement à intégrer ces recommandations à la réglementation en vertu de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires.*

Quel est le niveau de risque pour la santé associé aux limites de dose prévues dans la réglementation en vertu de la LCEA?

Comme nous l'avons indiqué précédemment, les seules données fiables dont on dispose sur les effets chez l'humain sont issues d'études sur l'exposition à de hautes doses, telles celles auxquelles ont été exposés les survivants de la bombe atomique et les patients traités au rayonnement à des fins médicales. En prenant pour hypothèse que les effets aux doses plus faibles seront proportionnels à ceux observés aux doses élevées, la CIPR a estimé les probabilités de développement d'un cancer mortel par suite de l'exposition aux faibles niveaux de rayonnement reçus en milieu de travail. La probabilité d'apparition d'un cancer mortel chez les individus, utilisée par la CIPR jusqu'à 1990, était d'environ 13 par million par mSv d'exposition de l'organisme entier. Avant 1990, la CIPR avait décidé que les risques dus à l'exposition professionnelle au rayonnement ne devaient pas être supérieurs aux risques généralement acceptés par les travailleurs des industries non dangereuses. La CIPR faisait remarquer que les travailleurs des industries non dangereuses semblaient prêts à accepter une mortalité reliée au travail de 100 par million de travailleurs par an. Ce facteur de risque correspond à une dose annuelle d'environ 5 mSv. Toutefois, la CIPR avait également suggéré que les doses moyennes annuelles d'exposition en milieu de travail étaient généralement d'un dixième de 50 mSv et, par conséquent, avait recommandé d'utiliser comme limite 50 mSv par an, en conjonction avec une application rigoureuse du principe ALARA.

Aux termes des nouvelles recommandations de la CIPR (1990) mentionnées dans la réponse à la question précédente, on estime à présent que la probabilité d'apparition d'un cancer mortel chez les travailleurs par suite du faible niveau de rayonnement reçu en milieu de travail est d'environ 40* par million par mSv d'exposition de l'organisme entier. La CIPR a décidé de publier ses nouvelles recommandations après avoir observé une augmentation dans la probabilité estimée de risque de cancer par irradiation à faible dose et à faible débit de dose révélée par les nouvelles données épidémiologique portant sur les survivants de la bombe atomique.

* Le facteur de risque de 1990 de la CIPR est de 4×10^2 par Sv (40 cancers mortels par million par mSv d'exposition de l'organisme entier). La valeur correspondante pour la population totale est de 5×10^2 par Sv (50 cancers mortels par million par mSv d'exposition de l'organisme entier), laquelle s'applique aux individus de tous âges, incluant les enfants.

Les risques dus au rayonnement sont-ils différents pour l'homme et pour la femme?

L'incidence des cancers de la thyroïde et du sein causés par le rayonnement est plus élevée chez la femme que chez l'homme, tandis que l'inverse est vrai pour la leucémie. La différence globale n'est pas suffisante pour rendre nécessaire la spécification de limites de doses distinctes.

Toutefois, on observe des différences majeures dans le cas d'un foetus, car celui-ci est, en règle générale, plus sensible au rayonnement que la femme ou l'homme adulte. On a ainsi établi des limites de dose différentes pour les femmes enceintes.

Quels sont les effets sur le foetus?

L'exposition au rayonnement peut provoquer des malformations congénitales, l'arriération mentale, une diminution du quotien intellectuel, des maladies héréditaires pouvant être transmises aux générations futures, un cancer infantile et un cancer à l'âge adulte. À la limite actuelle de 10 mSv durant le restant de la grossesse à compter de la divulgation, on considère que les trois premiers effets sont négligeables. Toutefois, les trois derniers ont un faible risque de se manifester à des doses de 10 mSv, la probabilité étant d'environ 2000 sur un million. L'essentiel de ce risque découle de la possibilité d'apparition d'un cancer à l'âge adulte, événement dont on ne connaît pas la probabilité avec exactitude. La seule estimation dont on dispose est basée sur l'étude des survivants japonais de la bombe atomique qui étaient dans le ventre de leur mère au moment du bombardement. Comme ils ont à présent près de 50 ans, ils viennent tout juste d'entrer dans la période où l'incidence naturelle du cancer augmente et, par conséquent, il faudra attendre quelques années avant de savoir dans quelle mesure leur taux de cancer est supérieur, le cas échéant. La CIPR (1990) a recommandé une nouvelle limite de dose pour les travailleuses enceintes plutôt que pour le foetus, pour la raison pratique qu'il est le plus souvent impossible de mesurer, ou même de calculer, la dose reçue par le foetus. La nouvelle limite est beaucoup plus basse que celle en vigueur actuellement. La CIPR a recommandé que les doses reçues à la surface de l'abdomen des travailleuses enceintes soient limitées à 2 mSv et que l'absorption de radionucléides soit limitée à 0,05 LAI (limite annuelle d'incorporation) durant la grossesse.

Le travailleur peut-il prendre des mesures pour réduire le risque auquel il est exposé?

Pour obtenir un permis l'autorisant à exercer des activités faisant appel au rayonnement, l'employeur doit établir devant la CCEA qu'il possède l'équipement, dispose des vêtements de protection et a établi les procédures appropriées pour maintenir les doses de rayonnements des travailleurs à un niveau bien inférieur à la limite, dans la mesure de ce qui est raisonnablement possible d'atteindre.

En utilisant consciencieusement l'équipement, les vêtements de protection et les procédures fournies par l'employeur pour travailler dans un milieu exposé au rayonnement, le travailleur contribuera de manière significative à maintenir sa dose de rayonnement et celle de ses collègues de travail à la valeur la plus faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre. Compte tenu du fait qu'il est impossible de rendre les procédures assez explicites pour couvrir toutes les situations, le travailleur doit faire appel à son bon sens pour travailler dans un milieu exposé au rayonnement, ne pas prendre de raccourci lorsqu'il suit les procédures et tenter de déceler toute situation anormale. Les travailleurs doivent s'assurer qu'ils savent comment faire face aux accidents et être en mesure d'apprécier s'il y a lieu d'appeler des experts en radioprotection.

Si les risques attribuables à l'exposition au rayonnement en milieu professionnel sont faibles, ils s'ajoutent cependant en général à d'autres risques professionnels. Il est raisonnable de viser à maintenir les doses de rayonnement au niveau le plus faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre. Cet objectif peut être atteint tout en effectuant correctement son travail, par une bonne formation, un équipement de protection approprié, un respect stricte des règles de sécurité et le recours au bon sens.

QUELLES RÉFÉRENCES ONT ÉTÉ UTILISÉES POUR CRÉER CE DOCUMENT?

AC95 ACRP-14, « Management of Carbon-14 in Canadian Nuclear Facilities » (1995), Comité consultatif de la radioprotection, Commission de contrôle de l'énergie atomique, (AECB INFO-0569(E)).

AC98 CCPR-19, Surveillance radiologique des travailleurs de l'industrie de l'uranium (1998), Comité consultatif de la radioprotection, Commission de contrôle de l'énergie atomique, BMD98-173.1.

AI81 American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers (1981) International Conference on Radiation Hazards in Mining: Control, measurement and medical aspects.

An65 Andros, G., Harpur, P.V., Lathrop, K., et McCardle, R.J. (1965). Pertechnetate 99m Localization in Man with Applications to Thyroid Scanning and the Study of Thyroid Pathology. Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, Vol. 25, p. 1067.

An73 Andrews, G.A. Hematologic Data for Estimating Injury in Radiation Accidents (1973). International Workshop on *Recent Advances in Medical Management in Radiation Accidents*. Washington, 17 au 19 septembre 1973.

As97 Ashmore, J.P. et Sont, W. « Statistiques annuelles sur les radioexpositions professionnelles selon le Fichier dosimétrique national - 1995 » (1997). Bulletin (Association canadienne de radioprotection), Vol. 18, nº 1, janvier 1997.

As 98 Ashmore, J.P., Kreski, D., Zielinski, J.M., Jiang, H., Semenciw, R., Band, P.R.(1998). First Analysis of Mortality and Occupational Radiation Exposure Based on the National Dose Registry of Canada. American Journal of Epidemiology, Volume 148, nº 6, p.564-574.

BE90 BEIR V. Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation (1990). U.S. National Academy Press, Washington, D.C.

Bo53 Borison, H.K. et Wang, S.C. Physiology and Pharmacology of Vomiting (1953). Pharmacology Rev., 5, 193.

Bo90 Boice, J.D., Jr. (1990). « Studies of Atomic Bomb Survivors. Understanding the Radiation Effects ». Journal of the American Medical Association, Vol. 264, pp. 622-623.

Br69 Bryant, P.M. (1969). Data for Assessments Concerning Controlled and Accidental Releases of Iodine 131 and Cesium 137 to Atmosphere. Health Physics 17, p. 51.

CM97 Le radon : Guide à l'usage des propriétaires canadiens (1996). Société canadienne d'hypothèques et de logement et Santé Canada (sous presse).

Co76 Cohen, M., Wrenn, N.D., Guilemette, R.A., et Lo Sasso, T. (1976). Enhancement of Americium 241 Excretion by Intravenous Administration of NA3 (Ca-DTPA) in Man

and Baboon in Comparison. Diagnosis and Treatment of Incorporated Radionuclides, pg. 461. IAEA Publication#STI-PUB-411. Agence international de l'énergie atomique, Vienne.

Do97 Doll, R., (1997). Risks of childhood cancer from fetal irradiation. British Journal of Radiology, Vol.70, pp. 130-139.

Du73 Durbin, P.W. (1973). Metabolism and Biological Effects of the Transplutonium Elements. Handbook of Experimental Pharmacology - Uranium, Plutonium, Transplutonic Elements, p. 739. Hodge, H.C., Stannard, J.N., and Hursh, J.B. Editors, Springer Verlag, New York.

Ev74 Evans, R.D. (1974). Radium in Man. Health Physics 27, p. 497.

Fo58 Foreman, H., Moss, W., et Eustler, B.C. (1958). Clinical Experience with Radioactive Materials. The American Journal of Roentgenology and Radium Therapy as well as Nuclear Medicine 79, 1071.

FR64 Federal Radiation Council (1964). Background Material for the Development of Radiation Protection Standards, FRC Report No. 5. Superintendent of Documents US Government Printing Office, Washington.

GM92 GCM-3, « Lignes directrices pour les plans d'urgence des hôpitaux aux fins de la gestion des accidents radiologiques mineurs » (1992), Groupe des conseillers médicaux, Commission de contrôle de l'énergie atomique, CCEA INFO-0427(F).

GM93 GCM-6, « Lignes directrices sur l'assistance à offrir en cas de surexpositions professionnelles aux rayonnements ionisants » (1993), Groupe des conseillers médicaux, Commission de contrôle de l'énergie atomique, CCEA INFO-0450.

GM95 GCM-7, « Lignes directrices pour la prise en charge médicale des personnes surexposées à l'eau tritiée », Groupe des conseillers médicaux (1995), Commission de contrôle de l'énergie atomique, CCEA INFO-0586(F).

GM95a GMA-9, « Lignes directrices sur l'utilisation de l'iode stable comme mesure prophylactique en cas d'urgence nucléaire » (1995), Groupe des conseillers médicaux, Commission de contrôle de l'énergie atomique, CCEA INFO-0587(F).

Gr93 Gribbin, M.A., Weeks, J., et Howe, G.R. Cancer Mortality (1956-85) among Male Employees of Atomic Energy of Canada Limited with Respect to Occupational Exposure to External Low-Lonear-Energy-Transfer Ionizing Radiation (1993). Radiation Research 133, 375-380.

Ha69 Hasterlik, R.J., Miller, C.E., Finkle, A.J. (1969). Radiographic Development of Skeletal Lesions in Man Many Years After the Acquisition of Radium Burden. Radiology 93, p. 599.

Ha86 Harding, R.K. et Davis, C.J. Progress in the Elucidation of the Mechanisms of Radiation-induced Vomiting (1986) Int. J. Radiat. Biol. 50, 947.

HC97 Rapport de 1996 sur les radioexpositions professionnelles au Canada (1997), Santé Canada 97-DHM-210.

He52 Hemplemann, L.H., Lisco, H., et Hoffman, J.G. (1952) The Acute Radiation Syndrome: A Study of Nine Cases and a Review of the Problem, Ann. Inter. Med., 36, 279.

Ho87 Howe, G.R., Weeks, J.L., Miller, A., Charelli A.M., Etezadi-Amoli J. (1987) A Study of the Health of the Employees of Atomic Energy Canada Limited IV. Analysis of Mortality During the Period 1950-1981. Énergie atomique du Canada Limitée, AECL-9442

IA86 What the General Practitioner Should Know About Medical Handling of Overexposed Individuals (1986), IAEA-TECDOC-366, Agence internationale de l'énergie atomique.

IA98 Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries (1998), Safety Report Series #2, Agence internationale de l'énergie atomique.

IC72 Commission internationale de protection radiologique. The Metabolism of Compounds of Plutonium and Other Actinides (1972). Publication 19 de la CIPR. Pergamon Press, New York.

IC88 Commission internationale de protection radiologique. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers: an addendum (1988). Publication 30 de la CIPR, Partie 4, 1988. Annales de la CIPR 19, 4. Pergamon Press, New York

IC91 Commission internationale de protection radiologique. Recommandations 1990 de la Commission internationale de protection radiologique (1991). Publication 60 de la CIPR, 207 p., Pergamon Press, New York.

IC93 Commission internationale de protection radiologique. Protection Against Radon-222 at home and at work (1993). Publication 65 de la CIPR. Pergamon Press, New York.

IC94 Commission internationale de protection radiologique. Age Dependent Doses to members of the public from intake of radionuclides Part 2 (1994). Ingestion Coefficients. Publication 67 de la CIPR, Pergamon Press, New York

IC95 Commission internationale de protection radiologique. Dose Coefficients for intakes of radionuclides by workers (1995). Publication 68 de la CIPR, Pergamon Press, New York

Ll66 Lloyd, R.D., Zundel, W.S., Mays, C.W., Wagner, W.W., Pendleton, R.C., et Aamodt, R.L. (1966). Cesium 137 Half Times in Normal, in Dystrophic, and in Pregnant Humans. Research and Radiobiology, pg 297. University of Utah Report #C00-119-234 (University of Utah, Salt Lake City).

Lu80 Lushbaugh, C.C., Fry, S.A., Hubner, K., et al. (1980). Total Body Irradiation: A Historical Review and Follow-up. The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness, Hubner K.F. and Fry, S.A., Eds., Elsevier/North Holland, New York

Lu94 Lubin, J.H., Boice, J.D. Jr., Edling, C. et al. (1994). Radon and lung cancer risk: A joint analysis of 11 underground miner studies. NIH Publication No. 94-3644

Ma64 Marsden, E. (1964). Incidences and Possible Significance of Inhaled or Ingested Polonium. Nature 203(230).

Me90 Mettler, Jr., F.A. and Kelsey, C.A. (1990). Fundamentals of Radiation Accidents. Medical Management of Radiation Accidents. Mettler, Jr. F.A., Kelsey, C.A. and Ricks, R.C., Eds. Boca Raton, Floride.

NC74 National Council on Radiation Protection and Measurements: Radiological factors affecting decision-making in a nuclear attack (1974). NCRP Report #42.

NC77 Cesium-137 from the Environment to Man: Metabolism and Dose (1977). National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP - rapport nº 52.

NC79 Management of persons accidentally contaminated with radionuclides (1979). National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP - rapport nº 65.

Pi96 Pierce, D. et al, (1996). Studies of Mortality of Atomic Bomb Survivors. Report 12, Part 1. Cancer: 1950-1990, Radiation Research 146, page 1-27.

Ro66 Roberts, I.C. (1966). Effluent Monitoring and Evaluation. A Power Reactor Design Guide. USAEC Research and Development Report No. BNWL-251, Battelle Pacific Northwest Laboratories, Richland, Washington.

Sa65 Samachson, J. and Spencer, H. (1965). Radioactive Strontium - Estimation of the Amount Accidentally Ingested. Science 148, p. 955.

Sa91 Samet. J. (1991). Diseases of uranium miners and other underground miners exposed to radon. Occupational Medicine:State of the Art Reviews. Vol.6, No.4.

Se75 Seidel, A. (1975). Removal from the Rat of Internally Deposited Americium 241 by Long Term Treatment with Ca and Zn-DTPA. Radiation Res., Vol. 61, p. 478.

Se76 Siedel, A. (1976). Removal of 252 CF and 241 Am from the Rat by Mean of Ca-DTPA and Zn-DTPA. Diagnosis and Treatment of Incorporated Radionuclides, pg. 323. IAEA Publication OSTI-PUB-411. Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne.

Sh61 Shipman, T.L. (1961). A Radiation Fatality Resulting from Massive Over-exposure to Neutrons and Gamma Rays. Diagnosis and Treatment of Acute Radiation Injury, World Health Organization, Genève.

Th59 Thoma, G.E. and Wald, N. (1959). The Diagnosis and Management of Accidental Radiation Injury. J. Occup. Med., 1, 421.

UN88 Sources and Effects of Ionizing Radiation (1993), UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly, Nations Unies.

UN93 Sources and Effects of Ionizing Radiation (1993), UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly, Nations Unies.

Ve95 Verzijl, J.M., Wierckx, F.C.J., DIJK, a, Savelkoul, T.J.F., Glerum, J.H. (1995). Hemodialysis as a Potential Method for the Decontamination of Persons Exposed to Radiocesium. Health Physics, octobre 1995, Vol. 69:4, pp. 543-548.

Vo94 Voelz, G.L. Ionizing Radiation (1994). Occupational Medicine, 3rd ed. Zenz, C., Dickerson, O.B., and Horvath, E.P., Eds, St. Louis, Missouri.

GLOSSAIRE

activité : nombre de transformations nucléaires d'un nucléide radioactif par unité de temps; l'unité est le becquerel (Bq)

analyse cytogénétique : analyse des aberrations chromosomiques dans les lymphocytes du sang périphérique visant à évaluer les dommages causés aux chromosomes par suite d'une exposition au rayonnement et à estimer la dose de rayonnement

becquerel (Bq) : unité internationale normalisée de radioactivité, qui correspond à la désintégration d'un atome par seconde. L'ancienne unité (curie, ou Ci) correspond à la quantité de radioactivité d'un gramme de radium, soit $3,7 \times 10^{10}$ Bq

BEIR V : Comité sur les effets biologiques des rayonnements ionisants du Conseil national de recherche - a produit notamment le rapport intitulé *Health Effects of Exposures to Low Levels of Ionizing Radiation*, 1990

coefficient de risque : augmentation de l'incidence annuelle ou du taux de mortalité par dose unitaire : (1) le coefficient de risque relatif absolu est le nombre prévu de cas de personnes-années à risque pour une dose unitaire; (2) le coefficient de risque relatif est l'augmentation fractionnaire de l'incidence de la ligne de base ou du taux de mortalité pour une dose unitaire

curie : unité d'activité égale à $3,7 \times 10^{10}$ désintégrations par seconde, ce qui correspond à 37 GBq

dose équivalente : on a découvert que l'ampleur des dommages biologiques ne dépend pas seulement de la quantité d'énergie absorbée, mais aussi de la manière dont l'énergie est distribuée dans cette masse unitaire. Pour la même quantité d'énergie déposée dans les tissus, ces types de rayonnement qui produisent une traînée dense de molécules ionisées et excitées ont plus de facilité à produire des changements biologiques que les types de rayonnement qui produisent une distribution plus vaste des ions. La « dose équivalente » est une quantité qui exprime tous les types de rayonnement ionisant sur une échelle commune. La « dose équivalente » est égale à la « dose absorbée » multipliée par le « facteur de pondération du rayonnement » approprié; l'unité est le sievert (Sv)

dose engagée : dose totale résultant d'une incorporation de substance radioactive pendant 50 ans à la suite de l'incorporation chez des travailleurs et pendant 70 ans à la suite de l'incorporation chez un membre de la population

dose efficace : somme des valeurs qui représentent le produit de la dose équivalente reçue par un organe ou un tissu, et engagée à leur égard, par le « facteur de pondération des tissus » recommandé par un organisme international et propre à chaque tissu; le « facteur de pondération des tissus » reflète la probabilité qu'une unité de dose de rayonnement reçue par le tissu en question donne lieu à un cancer chez la personne exposée ou à une maladie génétique grave chez les descendants de la personne exposée; la somme des « facteurs de pondération des tissus » pour tous les tissus du corps est de 1,0. Les facteurs de pondération des tissus sont essentiellement des radio-sensibilités relatives. La dose

efficace est la dose qui, si elle est reçue au corps entier, poserait le même risque que la dose non uniforme reçue réellement; l'unité est la même que celle de la dose équivalente (sievert, ou Sv)

dose absorbée : énergie moyenne de rayonnement ionisant absorbée par une masse de tissu ou qui s'est déposée dans ce tissu; l'unité est le gray (Gy)

dose collective : somme des doses de rayonnement individuelles reçues par un groupe de personnes, en personnes-sieverts

dose-seuil : dose minimale en deçà de laquelle on n'observe aucune réaction ou aucun effet biologique

effet non stochastique : voir « effet déterministe »

effets stochastiques : effets biologiques pouvant survenir au hasard parmi un groupe de personnes exposées; la probabilité qu'ils se manifestent est proportionnelle à la « dose efficace », habituellement sans seuil; le cancer et les effets néfastes transmissibles par hérédité sont des effets stochastiques de première importance

effets déterministes: effets dont la gravité dépend souvent de la dose et pour lesquels des doses au-dessus de la dose seuil sont requises

efficacité biologique relative (EBR) : terme employé par les radiobiologistes. C'est le rapport de la dose absorbée (rayonnement de référence) (rayons X de 200 ou 250 kVp) à la dose absorbée d'une radiation d'essai qui produit le même niveau d'effets biologiques

essai biologique : mesure directe effectuée sur un individu, ses fluides corporels ou ses excrétions, afin d'évaluer l'exposition à des radionucléides qui se sont déposés à l'intérieur

estimation du risque : nombre de cas (ou de décès) qui sont prévus dans une population exposée par dose unitaire pour un régime d'exposition donné et pendant une période donnée; nombre de cas par personnes-sieverts

exposition : exposition à une source interne ou externe de rayonnement ou, selon le contexte, produit de la concentration d'une substance radioactive dans l'air (ou débit de dose d'une source de rayonnement) et durée de l'exposition à cette concentration (ou débit de dose)

facteur de pondération du rayonnement : facteur dépendant du TEL qui, multiplié par les doses absorbées, permet d'obtenir (à des fins de radioprotection) une quantité (« dose équivalente ») qui correspond le plus au degré d'effet biologique produit par ce rayonnement ionisant particulier; « dose absorbée » en Gy x « facteur de pondération du rayonnement » = « dose équivalente »

facteur de pondération des tissus : facteur par lequel la « dose reçue » par un organe ou par un tissu corporel est multipliée par une « dose efficace » afin de tenir compte du risque de cancer mortel ou de blessures transmissibles par hérédité résultant de l'irradiation de cet organe ou de ce tissu, comparativement au risque total que présentent de tels effets stochastiques résultant de l'irradiation du corps entier

gray (Gy) : nom spécial de l'unité de « dose absorbée » (1 Gy = 1 joule/kg); remplace le « rad »

homme de référence : « homme de référence », ou « homme de référence aux fins de la radioprotection » est une notion utilisée pour estimer la dose équivalente résultant de l'exposition humaine aux radionucléides. L'homme de référence est un « individu type » dont les caractéristiques liées à l'incorporation, au métabolisme et à la distribution des radionucléides dans le corps sont définies avec précision. L'homme de référence est ainsi le fondement des estimations publiées de la dose de rayonnement suivant des absorptions particulières de radionucléides

isotope : groupes d'éléments de même numéro atomique, mais de masse atomique différente. Lorsque l'isotope est radioactif, il porte le nom de « **radioisotope** »

limite annuelle d'incorporation : quantité de substance radioactive incorporée en un an qui résulte en une « dose engagée » égale à la limite de dose stochastique ou déterministe; différentes valeurs de la LAI s'appliquent à l'« incorporation » par inhalation et par ingestion, et différentes valeurs s'appliquent aux travailleurs sous rayonnements et aux membres du public

modèle linéaire/relation linéaire dose/effet : exprime l'effet (p. ex. mutation ou cancer) sous la forme d'une fonction directe (linéaire) de la dose

neutron : particule subatomique exempte de charge capable de produire des rayonnements ionisants par suite de collisions avec un noyau atomique

nucléide : isotope spécifique ou « espèce nucléaire », p. ex. cobalt 57, cobalt 59 et cobalt 60. Lorsqu'il est radioactif, le nucléide porte le nom de « radionucléide ».

période biologique : temps nécessaire pour que la quantité d'une substance, présente dans le corps, soit réduite à la moitié de sa valeur suite à l'élimination biologique

période efficace : temps nécessaire pour que la quantité d'une substance radioactive, présente dans le corps, soit réduite à la moitié de sa valeur suite à l'élimination biologique. Tient compte à la fois de la désintégration physique de la matière radioactive et de son élimination biologique par le corps

période physique : temps nécessaire pour que la quantité d'une substance, présente dans le corps, soit réduite à la moitié de sa valeur en raison de sa désintégration physique

personne-sievert : unité d'exposition de la population obtenue en additionnant les valeurs individuelles de la « dose efficace » pour toutes les personnes de la population exposée; unité de « dose collective »

préjudice : espérance mathématique des dommages individuels ou collectifs découlant de l'exposition au rayonnement, compte tenu de la probabilité de chaque type d'effet nocif pour la santé et de la gravité de chacun des effets

rad : nom spécial de l'ancienne unité de « dose absorbée » qui a été remplacée par le « gray »; 1 rad = 10 mGy; 1 Gy = 100 rad

radiation à TEL élevé : caractéristique du rayonnement émis par des particules lourdes et chargées, comme les protons et les particules alpha où la distance entre les sites d'ionisation le long de la trace de la particule est petite à l'échelle du noyau cellulaire

rayonnement ionisant : rayonnement suffisamment énergétique pour déloger les électrons d'un atome et pour produire des ions dans les matières qui les absorbent

rem : nom particulier de l'ancienne unité de « dose équivalente » et d'« équivalent de dose efficace »; a été remplacé par le « sievert »; 1 rem = 10 mSv.

risque relatif : expression du risque relatif en excès par rapport au risque sous-jacent; si l'excès est égal au risque sous-jacent, le risque relatif est de 2

roentgen ou R : ancienne unité de la mesure de l'exposition au rayonnement, parfois utilisée encore dans un contexte comme le roentgen par heure. Il décrit la quantité d'ionisations par masse unitaire dans l'air

sievert (Sv) : nom spécial de l'unité de « dose équivalente » et de la « dose efficace »; remplace le « rem ». 1 Sv = 100 rem

TEL : transfert d'énergie linéique, qui s'exprime habituellement en unités déposées par unité de longueur de la traînée d'un rayon ionisant ou d'une particule ionisante

unité alpha : concentration des produits de filiation du radon à l'équilibre avec 3700 Bq/m^3 de radon

unité alpha-mois : exposition qui résulte de l'inhalation, pendant 170 heures, d'air contenant une « unité alpha ».

REMERCIEMENTS

Membres du groupe de travail 12 du GCM

Dr Slavica Vlahovich, MD (président)
Dr Andrew Clarke, MD, DOHS (président)
Dr Jocelyn Hébert, MD
Dr Peter Hollett, MD, FRCP
Dr Gordon McCauley, MD

Tous les membres du Groupe des conseillers médicaux

Secrétariat du comité d'examen

M.W. Lupien (Secrétaire scientifique)
P.A. Kemph

Le Groupe des conseillers médicaux tient à remercier les personnes et organismes qui ont fourni des commentaires et suggestions durant la préparation de ce document. Ces remerciements ne signifient aucunement que ces personnes ou organisations endossent la version finale du document qui reflète les opinions du Groupe des conseillers médicaux seulement.

MEMBRES DU GROUPE D'EXAMEN ET ORGANISATIONS

J.E. Aldrich, Vancouver General Hospital, Colombie-Britannique
L. Cheung, Association canadienne de la médecine du travail et de l'environnement
K. Corbet, Services de santé à la communauté, Université de Calgary, Alberta
J.R. Johnson, Batelle Pacific Northwest Laboratories, Washington - Retraité
B. Lentle, Vancouver General Hospital, Colombie-Britannique
R. Ricks, Radiation Emergency Assistance Centre/Training Site, Oak Ridge Institute for Science and Education, Tennessee
J.A. Robertson, Comité consultatif de la sûreté nucléaire (CCSN) - Retraité
S.E. Sax, DuPont Canada Inc., Ontario
C. Thibeault, Air Canada Occupational Health Services
R. J. Walker, Commission de contrôle de l'énergie atomique
D. Whillans, Ontario Power Generation
Comité consultatif de la radioprotection (CCRP)
Association des hôpitaux du Québec (AHQ)
Association canadienne des techniciens en radiation médicale (ACTRM)
Association canadienne de médecine nucléaire (ACMN)
Association canadienne des radiologistes (ACR)
Association des infirmières et infirmiers du Canada (AIC)
Canadian Occupational Health Nurses Association (COHNA)
Commission de la santé et de la sécurité du Québec (CSST)